

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В СОЛИГОРСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

*Канд. геолог. наук, доц. МИХАЙЛОВ В. И.<sup>1)</sup>,  
инженеры КОНОНОВИЧ С. И.<sup>2)</sup>, ЧИБЕРКУС Ю. Н.<sup>2)</sup>, ТЕРЕШИНА О. Ю.<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»

Интенсивная разработка Старобинского месторождения калийных солей в течение 63 лет связана со значительными промышленными отходами, которые ежегодно увеличиваются в объемах и по площади. При эксплуатации месторождения возникают антропогенные геодинамические процессы в виде деформаций осадочных толщ, залегающих над горными выработками с образованием просадок земной поверхности глубиной до 4–5 м, происходящие на площади 150 км<sup>2</sup>.

В результате новейших подвижек крупных блоков платформенного чехла намечается тенденция усиления тектонических движений. В 1978, 1983 и 1989 гг. в этом районе зарегистрированы землетрясения до четырех баллов по шкале Рихтера [1]. Наряду с выявленными сейсмическими явлениями, энергетический класс которых определяется современной мобильностью земной коры, обнаруживаются местные сейсмические явления (до 40 землетрясений в год) природно-техногенного происхождения. Эти землетрясения вызваны, вероятно, техногенной деятельностью (подработка месторождения, сосредоточение на дневной поверхности крупнотоннажных галитовых отвалов, шламов и водохранилища), оказывающей влияние на изменение геодинамического режима территории. Подъем активности местных землетрясений наблюдается в осенний и весенний периоды.

Совпадение относительно высокобалльных землетрясений и локальных сейсмических явлений с зонами повышенной активности новейших тектонических движений позволяет сделать предположение об их тесной генетической связи. Активные движения земной коры, ее ландшафт и местные землетрясения причин-

но связаны между собой. Все эти геодинамические явления находят свое отражение в рельефе земной поверхности и достаточно хорошо индицируются на материалах аэрокосмической съемки. Изложенные обстоятельства обуславливают применение в этом районе инновационных технологий (спутникового мониторинга) для изучения новейших и современных геодинамических процессов и явлений в комплексе с другими методами.

На современном этапе одним из основных способов регистрации геодинамических процессов могут быть натурные инструментальные измерения смещений в пространстве и во времени специально оборудованных точек земной поверхности – реперов наблюдательных станций, объединенных в сеть. Использование традиционных методик наблюдений за смещениями реперов наблюдательных станций не позволяет регистрировать изменения их местоположения с требуемой точностью и оперативностью, принципиально не решает задачу одновременного измерения трехмерных смещений реперов наблюдательных станций.

Возникшая в начале 1990-х гг. возможность использования системы спутникового позиционирования GPS позволила с высокой точностью измерять смещения точек земной поверхности в разовом режиме, в форме мониторинговых наблюдений и в режиме непрерывных наблюдений за короткопериодными деформациями массива горных пород. При этом следует отметить, что данные, полученные с использованием методов спутниковой геодезии, более информативны, так как измерения деформаций ведутся одновременно по трем координатам, а при использовании традиционных методов только в двух – в вертикальной плоскости и

вдоль профильной линии. Реальные же векторы смещений реперов наблюдательной станции направлены в общем случае под углом к профильной линии, вследствие чего при измерениях деформаций с помощью традиционных методов затруднительно получить полный вектор смещений.

Первым шагом по созданию геодинимического мониторинга с использованием GPS-технологий над современными геодинимическими активными зонами Старобинского месторождения калийных солей стало создание в 2005 г. стационарной сети, расположенной в зонах тектонических разломов Краснослободского рудника.

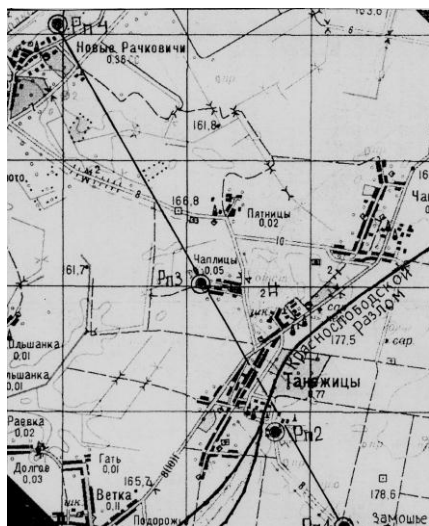


Рис. 1. Схема расположения геодинимических реперов

Сеть включает четыре геодинимических репера, сооруженных по методике, близкой к методике польских ученых из Института геодезии и картографии [2], и расположенных в линию, перпендикулярную Краснослободскому разлому (рис. 1). Схематическое строение реперов 1–4, используемых для геодинимического GPS-мониторинга, приведено на рис. 2.

Начиная с 2005 г. регулярно два раза в год проводились спутниковые геодезические наблюдения одновременно на всех четырех пунктах сети. До 2008 г. на всех пунктах сети устанавливали двухчастотные геодезические приемники серии Leica WILD GPS SYSTEM 200, а с 2008 г. измерения стали выполнять высокоточными двухчастотными и двухсистемными GPS-приемниками серии Leica GPS1200 (рис. 3).

Спутниковые приемники серии GPS1200 обладают уникальными возможностями отслеживания GPS-сигналов, широким выбором настроек и конфигураций для выполнения съемок в режиме реального времени и с постобработкой.

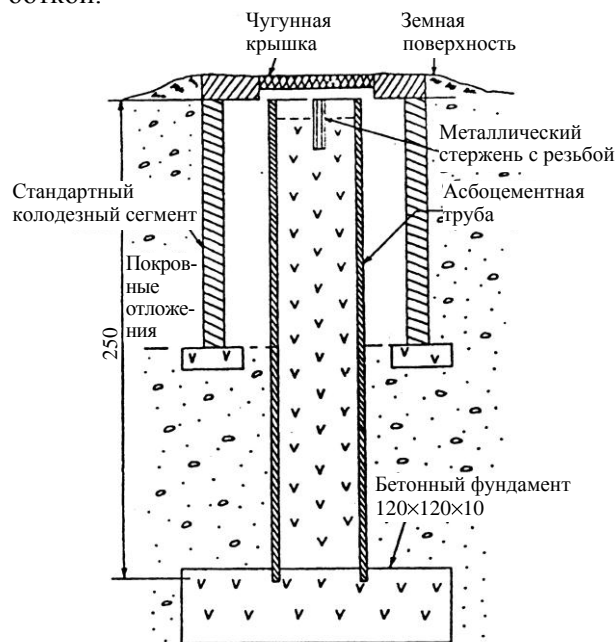


Рис. 2. Схема строения геодинимического репера (все размеры даны в сантиметрах)

В приемниках серии GPS1200 реализованы уникальные технологии слежения и приема сигналов со спутников – SmartTrack и SmartCheck. Технология SmartTrack позволяет осуществлять захват сигналов всех видимых спутников за секунды, отслеживать спутники на малых углах возвышения, выполнять измерения в условиях множества сигналов. Кроме того, технология SmartTrack включает возможность работы с новыми типами GPS-сигналов, т. е. при вводе в эксплуатацию новых навигационных систем (например, планируемой Европейской космической системы) можно без изменения программных и аппаратных средств использовать при обработке сигналы с этих систем.

Реализация в приемниках технологии SmartCheck позволила выполнять измерения в режиме RTK (реального времени) более точно и расширила диапазон измерения с сантиметровой точностью до 30 км. Линии длиной 30 км и более можно измерять с частотой 20 Гц. Встроенная уникальная система мониторинга

целостности проверяет все регистрируемые данные.

Таким образом, кроме высокоточных статических измерений, приемники серии GPS1200 могут использоваться практически для всего спектра геодезических задач: создания опорного обоснования, топографических съемок, инженерных изысканий, кадастровых съемок, выноса в натуру, мониторинга объектов, сейсмической разведки, решения многих других задач.

GPS-наблюдения на геодинимических реперах в районе Краснослободского разлома выполняли сетевым методом. Использовали режим измерений «Статика». Длину эпохи наблюдений устанавливали равной 30 с, выбирали исходя из рекомендаций фирмы-изготовителя GPS-оборудования и технических возможностей оборудования. Угол возвышения спутников, с которых принимали сигналы (угол засечки), устанавливали равным 10–15 град. (Угол 10 град. использовали на четвертом репере для увеличения числа принимаемых спутников, поскольку на этом репере условия приема GPS-сигналов были далеки от идеальных.) С целью исключения искажений, вносимых расположением фазового центра GPS-антенны, на каждый пункт сети всякий раз устанавливали один и тот же GPS-приемник и ориентировали его всегда в одном и том же направлении.



Рис. 3. GPS-приемник Leica GX1230

Программа каждой из ежегодной серии спутниковых наблюдений (GPS-измерений) состояла из нескольких двоянных, равных по времени сеансов наблюдений. Между сеансами наблюдений выполняли повторную установку и центрирование антенны. При этом изменение ее высоты, по сравнению с предыдущим сеан-

сом, составляло не менее 10 см. Длительность одного сеанса наблюдений продолжалась не менее 3 ч. По истечении заданного времени наблюдения повторно измеряли высоту прибора, производили запись данных наблюдений. В качестве опорного пункта был выбран репер 1. Предполагалось, что он неподвижен, и все изменения местоположения остальных трех реперов фиксируются относительно него. При последующей постобработке GPS-наблюдений выбирали фиксированные геоцентрические WGS 84-координаты первого репера, полученные в режиме Singlepoint solution в первой серии наблюдений. Во всех последующих сериях измерений координаты первого репера оставались неизменными, и от него вычисляли всевозможные базовые линии и координаты остальных трех реперов в геоцентрической системе координат WGS 84.

Для каждой серии наблюдений, после этапа вычислений WGS 84-координат реперов, уравнивание выполняли в программном модуле Adjustment программного обеспечения Leica Geosystems; использовались стандартные параметры для оценки наличия грубых ошибок в наблюдениях. Для сопоставления и анализа результатов наблюдений использовали уравненные координаты реперов в WGS 84. Для визуализации результатов измерений была построена проекция Меркатора с началом координат на репере 1.

Уравненные координаты второго геодинимического репера, полученные в результате GPS-измерений, выполненных в 2008–2010 гг., представлены в табл. 1. В последней строке табл. 1 приводятся координаты второго геодинимического репера, вычисленные как средние из шести серий наблюдений.

Отклонения в миллиметрах от среднего значения (табл. 1, строка «Среднее») координат репера 2 для каждого из шести уравненных значений приведены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что различия не превышают нескольких миллиметров и не превосходят паспортных точностных характеристик этого типа GPS-систем. Максимальное отклонение высоты репера составляет 2,9 мм, вычисленное из наблюдений, проведенных в сентябре 2009 г. Полученные смещения репера для этой серии наблюдений (2,2–2,9 мм) могут быть обусловлены как неко-

торой геодинамической активностью в районе разлома, так и различающимися неконтролируемыми условиями съемки (состоянием атмосферы, ионосферы, солнечной активности, времени съемки). Аргументы в пользу объяснения той или другой причины смещений могут дать дополнительные систематические наблюдения с созданием новых пунктов геодинамической сети и привлечением современных методов обработки экспериментальных данных.

Таблица 1  
Уравненные координаты репера 2

Дата наблюдений	Проекция Меркатора, прямоугольные координаты, м		
	Восток (Y)	Север (X)	Высота
Сентябрь 2008	-1160.1548	1548.1073	204.4006
Ноябрь 2008	-1160.1526	1548.1066	204.4034
Июнь 2009	-1160.1502	1548.1049	204.4022
Октябрь 2009	-1160.1506	1548.1043	204.4047
Май 2010	-1160.1537	1548.1045	204.4055
Сентябрь 2010	-1160.1500	1548.1027	204.4046
Среднее	1160.1520	1548.1050	204.4035

Таблица 2  
Отклонения координат репера 2 от среднего значения

Дата наблюдений	Отклонение координаты, мм		
	Восток (Y)	Север (X)	Высота
Сентябрь 2008	2.82	-2.25	2.9
Ноябрь 2008	0.62	-1.55	0.1
Июнь 2009	-1.78	0.15	1.3
Октябрь 2009	-1.38	0.75	-1.2
Май 2010	1.72	0.55	-2.0
Сентябрь 2010	-1.98	2.35	-1.1

Ретроспективный анализ GPS-измерений на стационарных пунктах геодинамической сети в выбранной зоне тектонического разлома Краснослободского рудника показал достаточную

сходимость наблюдений и подтвердил возможность оперативной оценки местоположения пунктов геодинамической сети на миллиметровом уровне точности. Дисперсии измеренных координат геодинамических реперов значительно меньше паспортных точностных характеристик используемых GPS-систем и носят, по предварительным данным, случайный характер. Таким образом, на протяжении серий GPS-наблюдений не выявлено значимых изменений относительного местоположения реперов Краснослободского геодинамического полигона, превосходящих допустимые погрешности измерительных систем.

## ВЫВОД

Разработана методика GPS-измерений на реперах, заложенных в районе Краснослободского разлома, входящего в геодинамически активную зону Старобинского месторождения калийных солей. Данная методика показала высокую эффективность GPS-наблюдений и подтвердила возможность оперативного определения пространственного положения фундаментальных пунктов геодезической сети на миллиметровом уровне точности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов, В. И. Изучение местных сейсмических явлений по картам и аэрокосмическим снимкам / В. И. Михайлов, И. А. Тяшкевич, А. М. Боборыкин // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1991. – № 5. – С. 111–118.
2. Современные движения земной коры на территории Воложинского и Солигорского геодинамических полигонов (Беларусь) // А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 2002. – № 1. – С. 113–117.

Поступила 18.02.2013