

УДК 622.834.1:622.847

Усанов Сергей Валерьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: usv@igduran.ru

Усанова Анна Витальевна

мл. научный сотрудник
лаборатории геомеханики
подземных сооружений,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: anne.usanova@gmail.com

**СДВИЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ
ШАХТЫ ****Аннотация:*

В статье описаны результаты наблюдений за процессом сдвижения поверхности при ликвидации и затоплении горных выработок железорудного месторождения. Используются визуальные наблюдения, глобальные навигационные спутниковые системы и аналитическая оценка результатов. С началом затопления началось трендовое поднятие поверхности и продолжается в течение пяти лет. Стагнация сдвижения ожидается через 12 – 15 лет после прекращения водоотлива. Создана локальная геоинформационная система (ГИС), которая станет базой для принятия решений о возможностях экономической реабилитации подработанной территории

Ключевые слова: подземный рудник, ликвидация, затопление, подработанная территория, инструментальные наблюдения, поднятия, окончание процесса сдвижения

Usanov Sergei V.

candidate of technical sciences,
the head of the laboratory,
The Institute of Mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: usv@igduran.ru

Usanova Anna V.

Junior researcher,
the Institute of Mining UB RAS
e-mail: anne.usanova@gmail.com

**EARTH SURFACE DISPLACEMENT
WHILE FLOODING AN IRON MINE***Abstract:*

The article describes the results of observations over the process of surface displacement when mine workings of an iron ore deposit are liquidated and flooded. Visual observations, global navigation satellite systems and analytical estimate of the results are utilized. Since the beginning of the flooding trending surface uplift has begun that is continuing for five years. Motion stagnation is expected in 12-15 years after water drainage has been ended. The local geo-informational system (GIS) that will be the basis for decision-making on under-worked territory economic rehabilitation was founded

Key words: subsurface mine, liquidation, flooding, underworked territory, instrumental observations rises, the displacement process ending

Введение. После отработки месторождения и ликвидации шахты сдвижение подработанной поверхности протекает со снижением величин и скоростей деформаций, но полностью не прекращается. Эти параметры имеют огромное значение для реабилитации подработанных территорий и интегрирования их в экономическую деятельность. В национальном стандарте ГОСТ Р 53778–2010 и других нормативных документах (РД 07-166-97, ПБ 07-269-98) бытует упрощенный подход к определению общей продолжительности процесса сдвижения, который основан на предположении о том, что после прекращения горных работ в течение 1 – 5 лет происходит плавное затухание оседаний поверхности. За окончание сдвижения рекомендуется принимать дату, после которой оседания не превышают 50 мм/год или 10 % от максимальных оседаний на протяжении 6 месяцев, но не более 30 мм.

* Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00324)

Фактически деформирование подработанной поверхности не прекращается весьма длительный период, достигая в отдельных случаях более двух веков [1], а сдвигание проявляется не только в виде плавных оседаний. Территории в восточном Донбассе [2] и Кузбассе [3, 4] после затопления угольных шахт и разрезов испытывают поднятия от 40 до 200 мм. Блочный характер распределения поднятий поверхности до 60 мм и оседаний до 170 мм отмечается как при строительстве, так и при эксплуатации метро в Екатеринбурге [5]. Продолжению деформаций на подработанных территориях способствует восстановление уровня грунтовых вод, суффозионные процессы и уплотнение обранных пород, геодинамические подвижки трендового и колебательного характера. Воздействие этих факторов постоянное и непрерывное, но по сравнению с горными работами менее интенсивное, и поэтому деформации поверхности происходят с небольшими величинами и скоростями. По мере консолидации незначительных пустот и «всплытия» их к поверхности образуются провалы, которые проявляются в разных участках шахтного поля с большой периодичностью [6].

Цель исследований. Экспериментально установить величины, скорости, продолжительность и периодичность геомеханических процессов при ликвидации и затоплении шахты «Эксплуатационная» на территории города Нижний Тагил для обеспечения безопасности техносферы на подработанной территории, а также для создания основ последующей реабилитации земель месторождения в экономической деятельности.

Характеристика объекта. Лебяжинское железорудное месторождение расположено практически в центре административной территории г. Нижний Тагил, чуть севернее его основной жилой застройки. Нижний Тагил – крупный административный, экономический и индустриальный центр площадью почти 300 км² с населением чуть меньше четырехсот тысяч. В связи с этим необходим контроль характера, величин и продолжительности деформационных процессов от затопленного рудника – опасного техногенного объекта, расположенного в центре урбанизации.

Месторождение находится в Тагило-Кушвинском железорудном районе и относится к Нижнетагильской группе. Оно расположено в зоне контакта сиенитового массива с мощным горизонтом Лебяжинского известняка. Геологическое строение составляют вулканические, вулканогенно-осадочные и осадочные породы. Всего выделено 50 рудных тел, которые разделены на западный и восточный пояса. Протяженность восточного рудного пояса более 800 м, а западного – 1300 м. Наибольшая глубина подсечения рудных тел 1000 м. Угол падения от 60° до 80° [7]. В Южной части месторождение ограничивается поверхностью сброса-сдвига «Главный», который известен своей геодинамической активностью на Высокогорском месторождении [8]. В центральной части два крутопадающих субмеридиональных надвига отделяют массивные магнетитовые руды от осадочно-вулканогенных пород туринской и красноуральской свит.

Разработка месторождения началась в 1720 г. Горные работы велись открытым способом до 1950 г., в результате чего сформированы небольшие карьеры глубиной до 70 м: Зайгора и Мраморный карьер, который используется как шламохранилище (рис. 1). В западной части месторождения отсыпан небольшой отвал, а в южной – косогорного типа склад сухих хвостов обогащения. С 1961 г. разработка велась преимущественно через шахту «Эксплуатационная», которая в 2008 г. ликвидирована, а выработки затоплены (рис. 2). Глубина горных работ достигала 700 м, при этом использовалась система разработки с обрушением вмещающих пород. Общий объем выработанных пространств 11 млн м³. Водоприток в шахту составлял 140 – 180 м³/ч [9]. Таким образом, затопление выработок должно произойти в течение 8 лет. Данные по размерам депрессионной воронки только ориентировочные.

Общая протяженность территории, нарушенной открытой и подземной разработкой Лебяжинского месторождения, составляет в меридиональном направлении 2300 м и

в широтном направлении около 1500 м (см. рис. 1). Граница мульды сдвижения от подземных разработок охватывает территорию протяженностью 1500 м по простиранию и более 850 м вкрест простирания залежей. Как по висячему, так и по лежащему боку четко выделяются границы зон сдвижения, трещин, обрушения и воронкообразования. Зона обрушения на земной поверхности имеет протяженность 900 м и ширину 200 м. Глубина провала достигает 60 м. Также сформировались две обособленные зоны обрушения диаметром 80 – 170 м севернее и южнее бывшей промплощадки шахты «Эксплуатационная», которая в результате оказалась полуостровом в зоне обрушения [10].

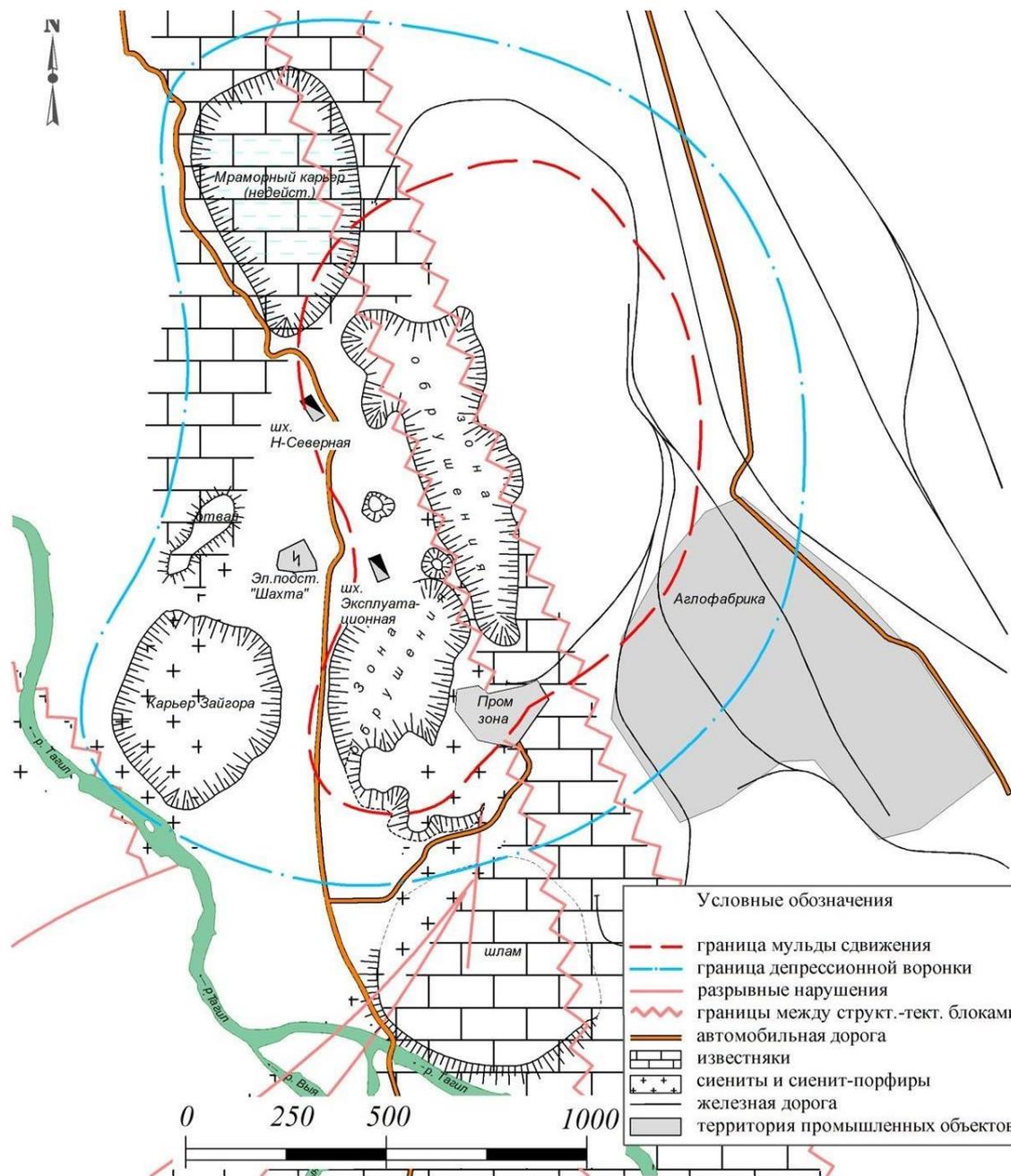


Рис. 1 – Техногенные объекты и инфраструктура территории в пределах месторождения

В границы депрессионной воронки и зоны сдвижения на южном фланге месторождения попадают река Лебяжка, аглофабрика, промышленная зона металлургической компании (см. рис. 2). В центральной части находится электростанция, на востоке в висячем боку – железнодорожные подъездные пути и товарная станция «Пост 15». Сеть

автомобильных дорог распространяется по всей территории. Все объекты имеют промышленное значение и относятся к II и III категориям охраны, для которых допустимые значения горизонтальных деформаций составляют $\varepsilon = 4 \cdot 10^{-3}$, вертикальных – $6 \cdot 10^{-3}$.

Инструментальные наблюдения за процессом сдвижения на Лебяжинском месторождении велись на протяжении 50 лет, но в связи с развитием горных работ и расширением зоны обрушения на разных этапах разработки контролировались обособленные участки поверхности. Так, например, в результате наблюдений за сдвижением поверхности висячем боку в период 1970 – 1990 гг. зафиксированы оседания более 4 м без разрыва сплошности [11]. На стадии доработки запасов подземным способом в 1998 – 2008 гг. наблюдения переместились на промплощадку шахты «Эксплуатационная», где промышленные здания подрабатывались камерами с сохранением устойчивости поверхности, при этом оседания отдельных участков достигали 2 м [12]. Таким образом, особенностью процесса сдвижения на Лебяжинском месторождении является устойчивость поверхности при плавном оседании поверхности до нескольких метров.



Рис. 2 – Доработка запасов целлика промплощадки шахты «Эксплуатационная» открытым способом после ликвидации ствола и затопленная зона обрушения

Обрушения поверхности происходили в течение 2 – 3 лет только после формирования террас с высотой уступов до 1 – 1,5 м. Используя эти особенности сдвижения, удалось решить ряд важнейших для шахты производственных задач, таких как сохранение подъездных железнодорожных путей, обеспечение безаварийной эксплуатации подъемного комплекса и административно-бытового комбината, которые располагались фактически на краю зоны обрушения [10, 12].

Методы исследования. После ликвидации шахты на территории месторождения специалистами лаборатории сдвижения горных пород ИГД УрО РАН и Высокогорского ГОКа для мониторинга деформационных процессов в 2010 г. оборудован геодинамиче-

ский полигон (рис. 3). Идеологическая основа полигона заключалась в зонировании территории по уровню воздействия подземной разработки и проявлению деформационных процессов [13, 14]. Для этого инструментальные наблюдения ведутся в зоне непосредственного влияния подземных горных работ, в зоне между мульдой сдвижения и депрессионной воронкой и во внешней зоне, где развиваются фоновые деформации. Опорные пункты полигона – Кирпичный завод и гора Лисья – находятся на удалении 2,7 и 4,3 км от границы депрессионной воронки, что обеспечивает наблюдениям стабильный базис и исключает влияние деформационных процессов Лебяжинского месторождения. Рабочие пункты полигона в количестве 14 штук распределены по территории так, чтобы контролировать деформации в районе действующих промышленных объектов и в характерных зонах сдвижения.

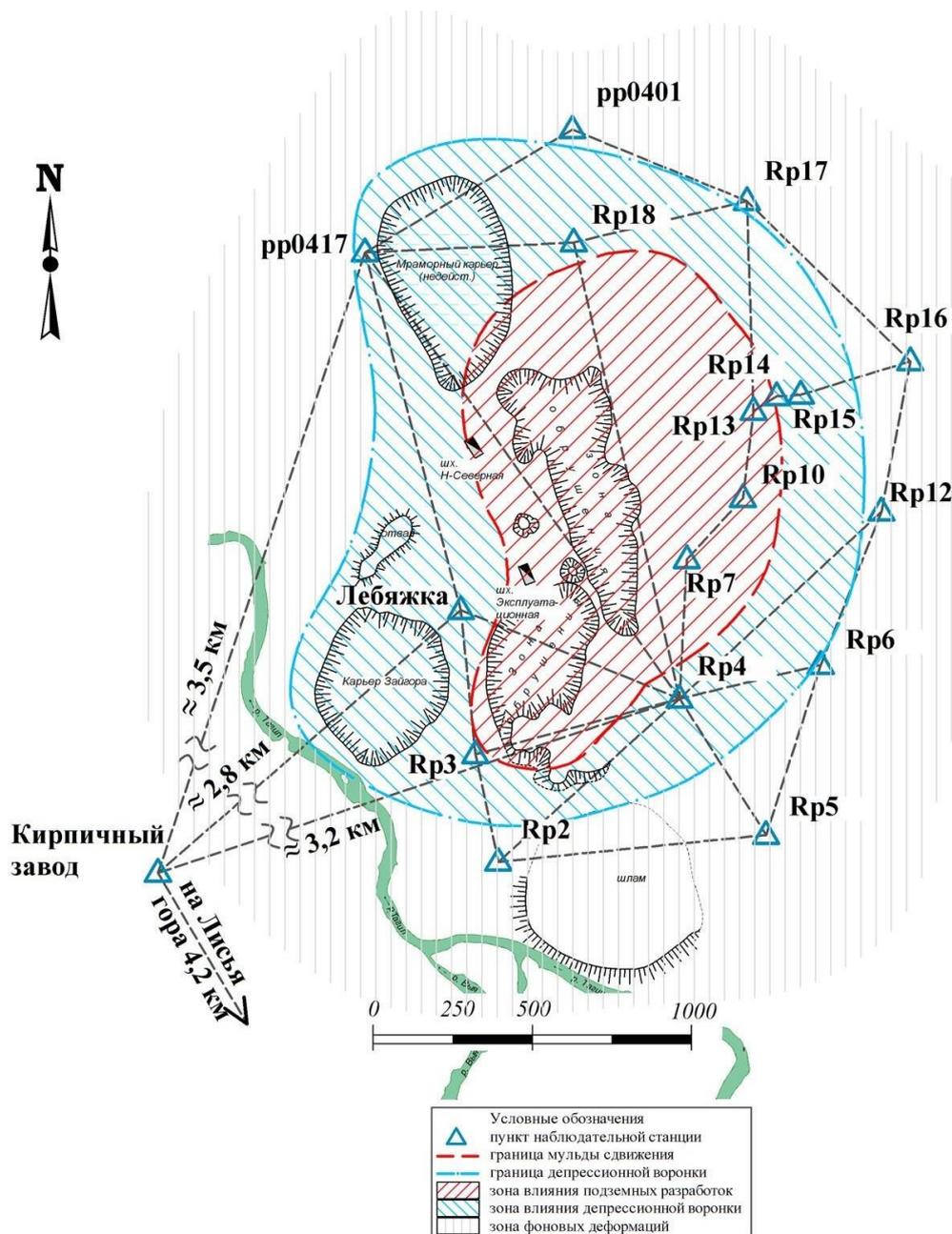


Рис. 3 – Принцип построения и схема станции мониторинга геомеханических процессов на Лебяжинском месторождении

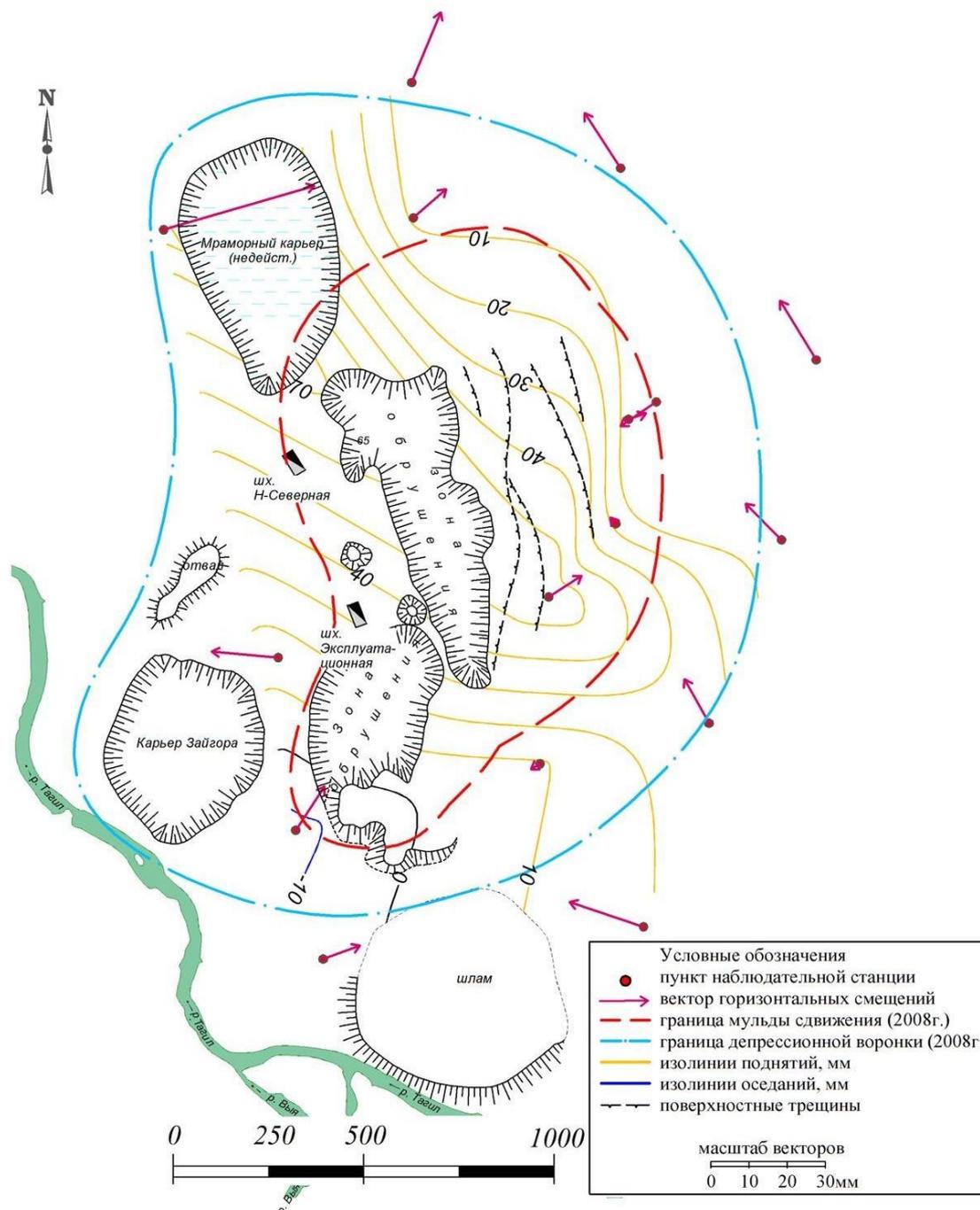


Рис. 4 – Результаты инструментальных наблюдений за сдвижением поверхности в период затопления горных выработок 2009 – 2013 гг.

Измерения на полигоне выполнялись с помощью глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. Одновременно в позиционировании принимало участие пять приемников спутникового сигнала, два из которых непрерывно работали все время съемки. Полевые измерения проводились при условии видимости над горизонтом не менее 8 спутников. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP, который составил менее 2. Средние квадратические ошибки при обработке базовых линий составили 3 мм.

Вся территория месторождения при проведении инструментальных измерений контролируется при помощи визуального осмотра. Геомеханические процессы фиксиру-

ются на цифровую фотоаппаратуру. Снимки проходят сравнение с результатами предыдущих наблюдений и способствуют аналитической оценке измеренных результатов. Дополнительно используются данные снимков с космических аппаратов, предоставляемые международными бесплатными географическими онлайн-энциклопедиями.

Результаты мониторинга. За три года наблюдений установлено градиентное распределение вертикальных смещений поверхности в пределах геодинамического полигона (рис. 4). Наибольшие изменения высотных отметок, как и ожидалось, отмечаются в мульде сдвигения и достигают 85 мм. Однако вопреки оседанию поверхности, практически повсеместно фиксируются поднятия с ежегодным трендом суммарного увеличения. Более 90 % территории месторождения испытывает поднятие, и только юго-западный участок полигона – оседание. Максимальное поднятие выявлено на северо-западе (пункт pp0417), где высотная отметка изменилась на +87 мм. Минимальное изменение отметки (+2 мм) зафиксировано на пункте Rp17. Оседание произошло на пунктах Rp2 и Rp3 и составило –4 и –13 мм, соответственно. В среднем по полигону величина поднятий достигает 19 мм, а оседаний – 8 мм.

Все пункты наблюдательной станции испытали разнонаправленное смещение большей частью в сторону, противоположную зоне обрушения. Шесть векторов восточного фланга имеют северо-западное направление, на семи пунктах западной стороны преобладает направление на северо-восток, у оставшихся трех пунктов направление на запад и юго-запад. Максимальный вектор смещения на полигоне составил 40,8 мм (пункт pp0417); минимальный – 2,8 мм на пункте Rp10. Усредненная величина векторов составила 13,7 мм.

Излив подземных вод на поверхность произошел в 2012 г. в северной части зоны обрушения и в карьере «Зайгора», расположенном недалеко от реки Тагил в западной части месторождения. В 2013 г. вода появилась уже и в южной части зоны обрушения, а сформировавшиеся прежде водные зеркала вдвое увеличились по площади по сравнению с предыдущим периодом.

Результаты инструментальных и визуальных наблюдений хранятся в базе данных, которая является частью созданной в ходе работы локальной геоинформационной системы (ГИС) Лебяжинского месторождения. Система обобщает информацию о рельефе, геологическом строении, горных выработках, объектах застройки и данных мониторинга. ГИС позволит оценивать геомеханические процессы и планировать экономическую реабилитацию подработанной территории с учетом окончания деформационных процессов, вести поддержку принятых решений посредством инструментального мониторинга.

Локальная ГИС Лебяжинского месторождения, как другие аналогичные системы [15, 16], является составной частью создаваемой базы данных территорий, где присутствуют опасные природно-техногенные процессы (рис. 5) Проблема обеспечения их безопасного использования в Свердловской области актуальна в городах Березовский, Верхняя Пышма, Дегтярск, Каменск-Уральский, Краснотурьинск, Нижний Тагил, в районе озера Шарташ и парка Юго-западный Екатеринбург. Такая проблема присутствует во всех горнодобывающих регионах России, в Казахстане, Украине, Швеции и других странах. В условиях взаимодействия техносферы с территориями отработанных и консервированных месторождений возникает ряд трудностей, связанных с утратой данных о геологических и горнотехнических характеристиках месторождений, с отсутствием доступа в выработанные пространства, с постепенным изменением устойчивости массива под влиянием гидрогеологических и геодинамических процессов. База данных по территориям развития опасных природно-техногенных процессов позволит прогнозировать очаги аварийных и катастрофических событий на глобальных территориях, охватывающих группы месторождений.

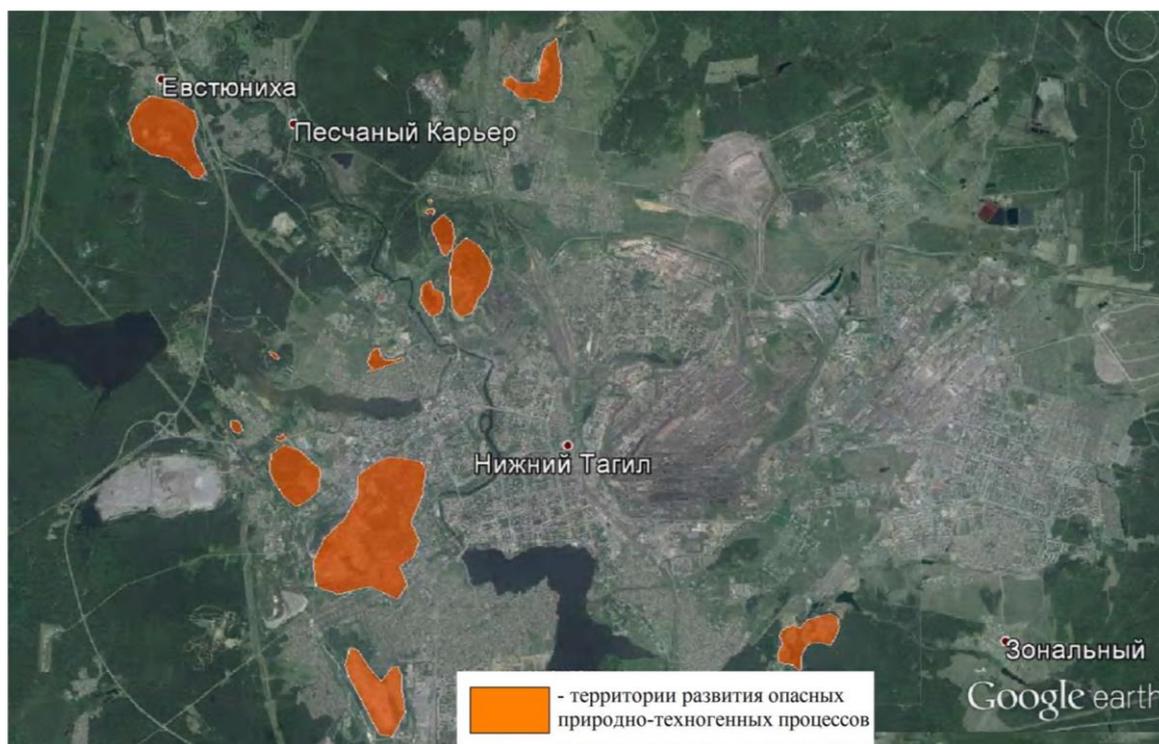


Рис. 5 – Фрагмент базы данных по территориям развития опасных природно-техногенных процессов

Обсуждение. Трендовое поднятие поверхности происходит не только при ликвидации и затоплении подземного рудника, но и при затоплении угольных шахт и разрезов [2, 3, 4]. Аналогичный эффект отмечают на территориях вокруг водохранилищ при повышении в них уровня воды. Поднятия плотины зафиксированы при наполнении водохранилища Богучанской ГЭС [17] и при повышении уровня воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС [18]. Таким образом, можно предположить, что поднятия инициируются главным образом вследствие разбухания пород и выдавливания вмещающего водный объем горного массива за счет увеличения гравитационной нагрузки от аккумулирующейся в выработках воды, подобно выдавливанию оснований породных отвалов. Также может оказывать воздействие эффект памяти формы горного массива, который испытал оседания и сжатия при формировании депрессионной воронки во время ведения горных работ, а при восстановлении гидрорежима – расширяется и поднимается. Стагнация поднятий должна произойти после полной ликвидации водной депрессии.

Выводы. Поднятия поверхности Лебяжинского подземного рудника стабильно нарастают в течение пяти лет после его ликвидации и прекращения водоотлива. Наиболее вероятной причиной поднятий является восстановление гидрорежима массива и заполнение подземных пустот водой. С учетом параметров излива воды на дно всех техногенных понижений рельефа месторождения, стабилизацию смещений поверхности следует ожидать к 2015 – 2016 гг. Это покажет продолжение инструментальных наблюдений. После стабилизации гидрогеологических процессов начнется стадия затухания геомеханических процессов, которая, по всей видимости, продлится еще 2 – 5 лет. Таким образом, общий период затухания деформаций, проявляющихся в стабильном трендовом режиме для общей площади Лебяжинского месторождения, составляющей 3,5 км², будет порядка 12 лет. После этого геомеханические процессы на поверхности перейдут в стадию периодического проявления, связанную с разрушением пропластков и технологических целиков, суффозией обрушенного материала, и будут продолжаться десятилетиями, но реализовываться на локальных изолированных друг от друга участках площадью 100

– 900 м². Окончательное прекращение провалов и проседаний поверхности также будет носить мозаичный характер распределения по территории месторождения.

Для экономической реабилитации подработанных территорий Лебяжинского месторождения необходимо расширить и сгустить наблюдательную сеть, а в программу мониторинга ввести контроль эволюции структурных преобразований горного массива. Это потребует увеличения затрат на мониторинг, но окупится безопасностью населения и возможностью интеграции 350 га территорий практически в центре города в хозяйственный оборот. Поэтому проблема мониторинга и реабилитации подработанных территорий должна решаться не только недропользователями, но и органами государства и местного самоуправления.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории сдвижения горных пород ИГД УрО РАН за помощь в проведении полевых экспериментальных работ, заведующего отделом геомеханики, доктора технических наук, профессора Сашурина А.Д. за обсуждение результатов данных исследований. Финансовую помощь исследованиям оказали Высокогорский ГОК и Российский фонд фундаментальных исследований (проект № 14-05-00324).

Литература

- 1 Усанов С. В. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработками / С. В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 0В11. – С. 260 – 266.
- 2 Мохов А.В. Геомеханические аспекты консервации и ликвидации каменноугольных шахт с затоплением горных выработок / А.В. Мохов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 5. – С. 196 – 198.
- 3 Западинский Л.А. Мониторинг экологических проблем, связанных с ликвидацией угольных шахт в Кузбассе / Л.А. Западинский, О.А. Ягунова // Маркшейдерский вестник. – 2001. – № 4. – С. 48 – 50.
- 4 Кутепова Н.А. Изучение закономерностей развития гидрогеомеханических процессов с целью прогноза деформаций земной поверхности при затоплении угольных шахт / Н.А. Кутепова, Ю.И. Кутепов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 2. – С. 142 – 154.
- 5 Усанов С.В. Деформационные процессы при строительстве тоннелей метрополитена в Екатеринбурге / С.В. Усанов, Ю.П. Коновалова // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2013. – № 6. – С. 142 – 144.
- 6 Усанов С.В. Подработанные подземными горными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования / Усанов С.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 10. – С. 349 – 352.
- 7 Мошинский Л.Г. Подземная разработка железорудных месторождений Урала / Л.Г. Мошинский, В.А. Щелканов. - М.: Госгортехиздат, 1962. – 140 с.
- 8 Усанов С.В. Мониторинг трансформации структуры горного массива под влиянием процесса сдвижения / С.В. Усанов, В.В. Мельник, А.Л. Замятин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 83 – 98.
- 9 Горное производство черной металлургии Урала / под ред. И.В. Дементьева, В.Л. Яковлева. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – 737 с.
- 10 Панжин А.А. Геомеханическое обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений в области влияния горных работ / А.А. Панжин, С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 6. - С. 179 – 184.
- 11 Сашурин А.Д. Сдвижение горных пород на рудниках черной металлургии / А.Д. Сашурин. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 268 с.

12 Панжин А.А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния подработанной территории / А.А. Панжин, С.В. Усанов // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды междунар. конф. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004. – С 526 – 529.

13 Усанов С.В. Мониторинг геодинамических движений горного массива Высокогорского железорудного месторождения при масштабном техногенном воздействии сложного горнодобывающего комплекса / С.В. Усанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № S11. – С. 248 – 255.

14 Пустуев А.Л. Принципы построения геодинамических полигонов при масштабном недропользовании / А.Л. Пустуев, Ю.П. Коновалова, А.А. Мартемьянов // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 32 – 36.

15 Усанова А.В. Геомеханическая информационная модель влияния ликвидированного подземного рудника в городе Верхняя Пышма / А. В. Усанова, С. В. Усанов // Маркшейдерия и недропользование. - 2014. - № 5. - С. 38 - 40.

16 Усанова А. В. Создание геоинформационной системы для оценки перспектив застройки подработанных территорий / А. В. Усанова // Геомеханика в горном деле: докл. Всерос. научно-техн. конф. с междунар. участием 1-3.10.13 / ИГД УрО РАН. - Екатеринбург, 2014. - С. 314 - 318.

17 Волынчиков А.Н. Поведение каменнонабросной плотины Богучанской ГЭС в период наполнения водохранилища / А.Н. Влынчиков, Б.А. Бурдюков, Э.Г. Газиев // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 9. – С. 9 – 17.

18 Савич А.И. Статическое и динамическое поведение Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины / А.И. Савич и др. // Гидротехническое строительство. – 2013. - № 3. – С. 2 – 13.