

УДК 622.834.53

**МОНИТОРИНГ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОКОЛОВСКО-САРБАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

А. В. Усанова, С. В. Усанов

*Институт горного дела УрО РАН,
E-mail: anne.usanova@gmail.com, usv@igduran.ru
ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620219, г. Екатеринбург, Россия*

Для определения сдвижения земной поверхности при разработке Соколовско-Сарбайского железорудного месторождения использованы данные радарных съемок 2006–2016 гг. Цель исследования — измерение вертикальных сдвижений земной поверхности одного из участков Соколовско-Сарбайского месторождения и установление особенностей ее оседания в мульде сдвижения шахты “Соколовская” в условиях обводненной рыхлой толщи. На основе серии архивных радарных снимков с космических аппаратов Alos Palsar и Alos 2 получены вертикальные сдвижения по исследуемой территории месторождения. Определена динамика перемещения в разные годы, границы вертикальных оседаний в зоне мульды сдвижения, в бортах карьеров и отвалов.

Дистанционное зондирование Земли, архивные радиолокационные снимки, сдвижение горных пород, Соколовское месторождение, мульда сдвижения, оседания

DOI: 10.15372/FTPRI20180404

Перспективным методом, позволяющим вести мониторинг больших площадей земной поверхности, проводить измерения смещений поверхности на месторождениях, является метод космических радарных съемок [1–3]. Метод радарной интерферометрии применяется для выявления зон локальных деформаций, определения смещения земной поверхности и установления границ зон сдвижения. В настоящем исследовании метод радарной интерферометрии использован для выявления зон локальных сдвижений на Соколовско-Сарбайском железорудном месторождении, а также для определения границы мульды сдвижения и ее динамики над подработанным массивом шахты “Соколовская”.

На севере Кустанайской области располагается город Рудный, граничащий с горнопромышленным предприятием АО “ССГПО”, которое занимается открытой и подземной добычей железной руды. Комплекс объектов горного предприятия представлен тремя карьерами — Сарбайским, Южно-Сарбайским и Соколовским, двумя железнодорожными отвалами — Восточным и Центральным, действующей шахтой “Соколовская”, а также хвостохранилищем, состоящим из трех секций [4]. Шахта “Соколовская” с производительностью 3 млн т руды в год разрабатывает северный участок Соколовского месторождения, где находится более 50 % всех

запасов месторождения. Такой сложнейший узел объектов интенсивного недропользования оказывает изостатическое и геодинамическое деформационное воздействие на горный массив и проявляется на площади более 100 км² [5–8].

Деформации, происходящие на поверхности в зоне влияния подземных горных работ шахты “Соколовская”, требуют от служб горного предприятия большого внимания. Для исследования таких деформаций используется метод радарной интерферометрии. Основные преимущества метода — контроль изменений дневной поверхности на большой территории, что особенно актуально для условий АО “ССГПО. Зондирование земной поверхности из космоса происходит постоянно, таким образом архив изображений все время пополняется. Для радарной интерферометрии, чтобы получить съемку одного и того же участка с одинаковыми геометрическими параметрами, необходим период повторения орбиты. Каждый радарный спутник имеет свой период, например для TerraSAR-X — 11 дней, ALOS Palsar — 46 дней, ALOS 2 — 14 дней.

Для исследования развития деформационных процессов в районе объектов недропользования Соколовско-Сарбайского месторождения использованы архивные съемки со спутников ALOS Palsar и ALOS 2. Методика обработки данных представлена в [9]. Наиболее ранним годом съемок является 2006 г., а последним — 2016 г. Таким образом, на основе архивных снимков возможно исследовать развитие деформаций за период, равный десяти годам. В процессе исследования исключены из обработки снимки зимних периодов из-за сильного влияния снежного покрова, вследствие чего полученные данные за эти периоды нельзя интерпретировать как изменение высотных отметок поверхности. Всего за период 2006–2016 гг. качественные данные получены только за четыре летне-осенних периода архивных съемок: 11.06.2006–27.07.2006, 2008–2009, 2009–2010, 2015–2016 гг. Из восемнадцати архивных снимков для получения карт оседания поверхности пригодными оказались только двенадцать.

Исследование вертикальных сдвижений выполнялось в три этапа. На первом определялись сдвигения территории Сарбайского и Соколовского месторождений. Размеры участка в плане составили 11 × 8 км. На последующих этапах выполнена детализация сдвижений поверхности сначала до уровня рудного поля, а затем до деформирования площадки на месте расположения промышленных зданий и сооружений шахты “Соколовская”.

С 2006 по 2016 г. территория, не имеющая техногенных объектов, находилась в достаточно устойчивом состоянии, значения вертикальных сдвижений не превышали ±0.01–0.02 м (рис. 1). Вертикальные сдвигения поверхности отвалов и карьеров на картах 11.06.2006–27.07.2006, 2008–2009, 2009–2010 проявлялись заметнее и интенсивнее оседаний, чем в зоне сдвижения шахты “Соколовская”. В 2006 г. наблюдалось оседание краевых частей верхних ярусов Центрального железнодорожного отвала до –0.15 м, которые к 2009 г. сменились оседанием до –0.3 м в центре отвала. К 2010 г. центральная часть отвала становится устойчивой, но в юго-западной и северо-восточной частях появляются поднятия до 0.2 м, которые могут быть обусловлены выпиранием подошвы вследствие предыдущего оседания верхнего яруса. К 2016 г. отвал находился в довольно устойчивом состоянии.

Интенсивные оседания происходили в западном и восточном бортах Восточного железнодорожного отвала. С 2008–2010 гг. наряду с оседаниями развивались поднятия в западной, центральной и восточной частях отвала. К 2016 г. деформационные процессы заметно снизились, но по-прежнему отмечалось деформирование юго-западной части, однако в меньших объемах по сравнению с предыдущими периодами, и в центре восточной части отвала, где оседания продолжали развиваться с высокими значениями –0.2 м/год. Все прибортовые отвалы, которые расположены непосредственно вокруг Сарбайского и Соколовского карьеров, в деформационном отношении за период 2006–2016 гг. себя практически не проявили.

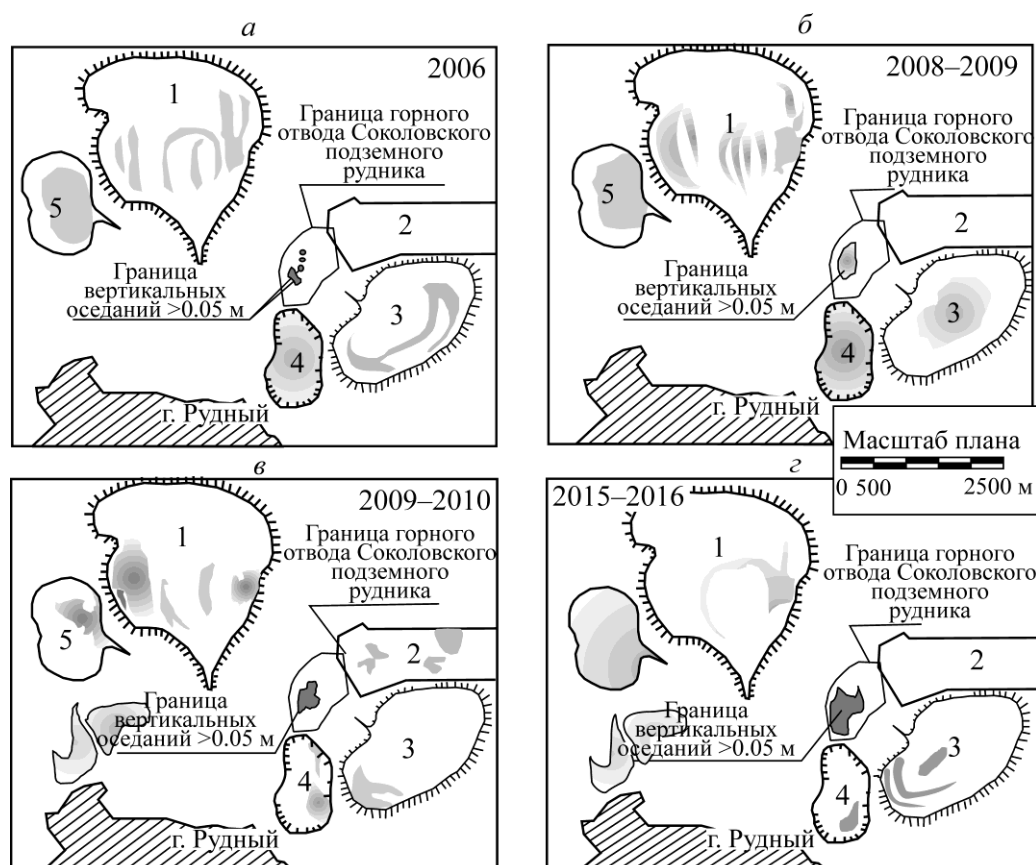


Рис. 1. Развитие вертикальных сдвижений поверхности при разработке Соколовско-Сарбайского месторождения: *а* — ALOS Palsar от 11.06.2006–27.07.2006; *б* — ALOS Palsar от 25.08.2008–13.10.2009; *в* — ALOS Palsar от 13.10.2009–31.08.2010; *г* — ALOS 2 от 13.09.2015–11.09.2016: 1 — Восточный железнодорожный отвал; 2 — хвостохранилище; 3 — Центральный железнодорожный отвал; 4 — Соколовский карьер; 5 — Сарбайский карьер

В течение 2006–2010 гг. попеременно происходили поднятия во всех бортах Соколовского и Сарбайского карьеров. К 2016 г. они заметно уменьшились, что связано со снижением интенсивности горных работ и доработкой карьеров. К 2010 г. стали проявляться оседания границы Южно-Сарбайского карьера и прикарьерного отвала, пока весьма незначительные, так как карьер только начал обрабатываться.

В период 2015–2016 гг. деформационные процессы в мульде сдвижения Соколовского подземного рудника начали проявляться заметно интенсивнее по сравнению с предыдущими периодами, а также по сравнению с оседаниями в бортах карьеров и отвалов. Область оседаний -0.1 – (-0.2) м в мульде сдвижения заметно расширилась.

На крупномасштабных картах рассмотрение мелких локальных изменений осложнено разнообразием цветовой кодировки вертикальных сдвижений, вследствие чего проведен переход к более детализированным картам вертикальных сдвижений. Для детализации деформационных изменений поверхности в зоне обрушения и в месте расположения Главного ствола шахты «Соколовская» совершен переход к крупномасштабным картам (рис. 2).

При рассмотрении карт вертикальных сдвижений, полученных методом радарной интерферометрии [10], отмечается несколько особенностей развития деформаций. Область интенсивных оседаний поверхности более -0.05 м, состоящая из пяти обособленных участков, с 2006 г. расширяется с устойчивым трендом, концентрируясь большей частью у западной границы зоны сдвижения. Размеры наибольшего участка составляют 500×260 м, остальные не превышают

в диаметре 180 м. С 2008 г. происходит объединение отдельных участков оседания, размеры объединенной зоны, где оседания превышают -0.05 м/год, составляют в субмеридиональном направлении 1150 м, в субширотном — 640 м. Южнее основной зоны оседания проявилась локальная мульда диаметром 180 м. За период 2009–2010 гг. происходит развитие зоны оседаний в сторону лежачего бока, ее размеры достигают 780 м в субширотном направлении. В период 2015–2016 гг. размеры области, где оседания превышали -0.05 м/год, в субмеридиональном направлении составили 1500 м, в субширотном — 1080 м. Нарастание значений деформаций во времени и пространстве связано с развитием зоны обрушения, понижением горных работ и разработкой месторождения системой с обрушением.

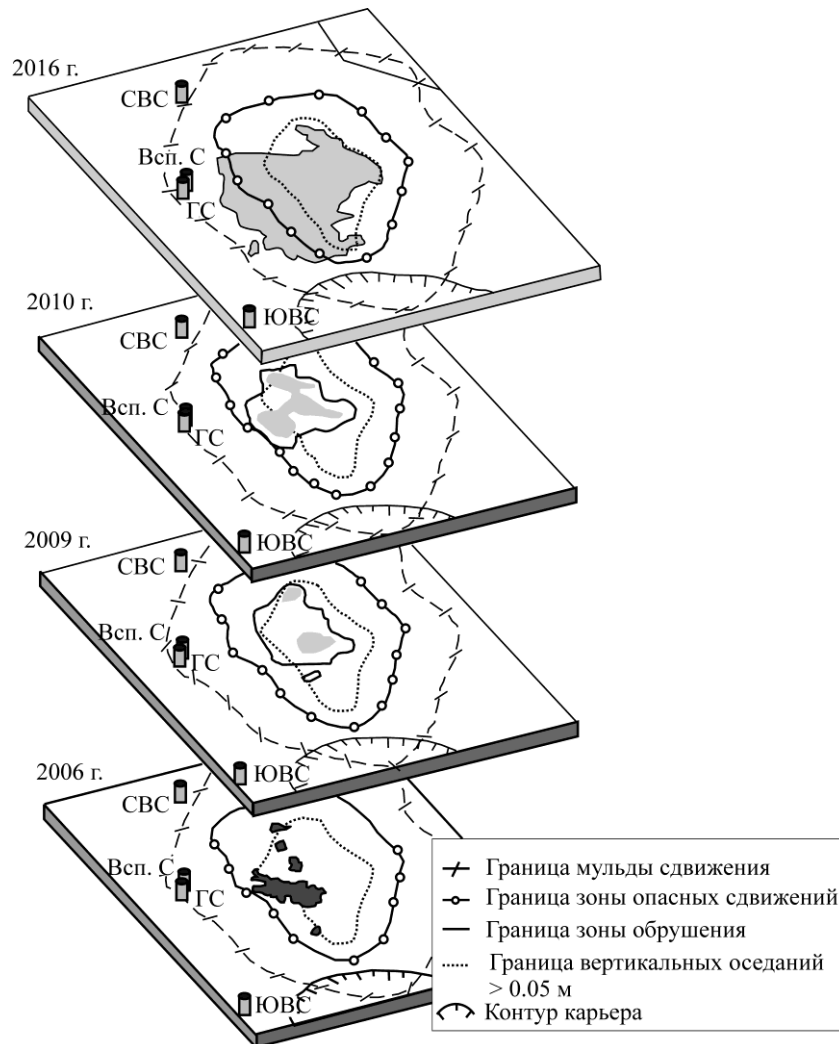
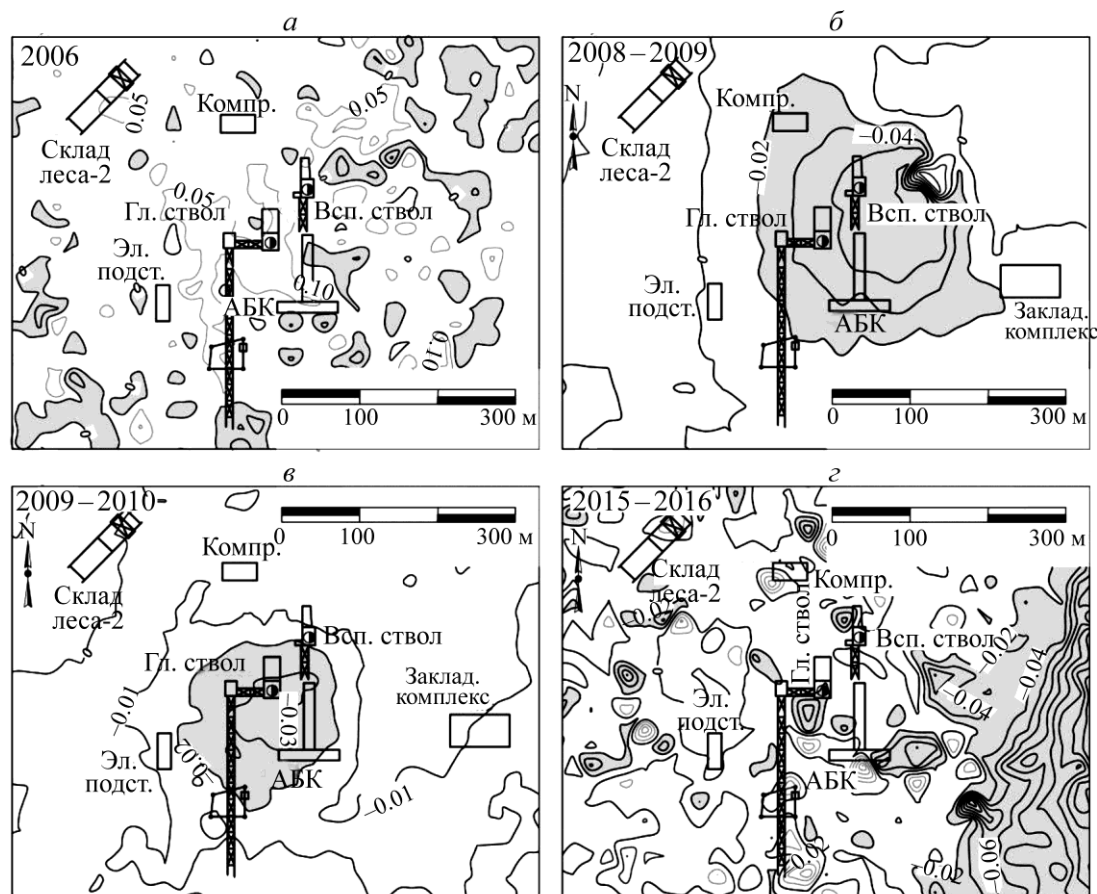


Рис. 2. Динамика оседания поверхности в области сдвижения горных пород шахты “Соколовская”: СВС — Северный вентиляционный ствол; ГС — Главный ствол; Всп. С — Вспомогательный ствол; ЮВС — Южный вентиляционный ствол

При дальнейшей детализации карт вертикальных сдвижений удалось установить их изменения с 2008 по 2010 г. В районе Главного и Вспомогательного стволов на промплощадке шахты “Соколовская” сформировалась локальная мульда сдвижения диаметром 300 м, обособленная от деформаций, происходящих в зоне обрушения (рис. 3). Центром этой мульды является Вспомогательный ствол. За 2008–2009 гг. оседания в мульде составили в среднем -0.06 м, а на территории промплощадки — от 0 до -0.02 м. В северо-восточной стороне участка оседания образова-

лось небольшое поднятие до 0.04 м. В период наблюдений 2009–2010 гг. мульда сдвижения поверхности в районе подъемного комплекса сохранилась, но центр сместился в сторону Главного ствола, где оседания составили -0.03 – (-0.04) м. Контур мульды трансформировался, но диаметр ее сохранился. В районе Вспомогательного ствола оседания составили -0.01 – (-0.02) м. К 2016 г. мульда сдвижения в районе подъемного комплекса сократилась в диаметре до 50 м, а центр сместился на юго-запад от Главного ствола, где оседание достигло -0.08 м.



Изолинии проведены через 0.05 м

Рис. 3. Вертикальные сдвигения промплощадки шахты “Соколовская”: а — ALOS Palsar от 11.06.2006–27.07.2006; б — ALOS Palsar от 25.08.2008–13.10.2009; в — ALOS Palsar от 13.10.2009–31.08.2010; г — ALOS 2 от 13.09.2015–11.09.2016

Карты вертикальных сдвижений, полученные с использованием радарной интерферометрии, сопоставлялись с данными измерений с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и маркшейдерских наблюдений за сдвигениями. Характерные участки поднятий и оседаний по результатам интерферометрии совпадали с маркшейдерскими наблюдениями по профильным линиям и пунктам ГНСС измерений.

ВЫВОДЫ

Методом радарной интерферометрии установлены участки деформаций на территории Соколовско-Сарбайского месторождения, которые визуально не были определены с помощью инструментального контроля. На основе архивных радарных снимков выявлены оседания поверхности до -0.1 м/год в районе расположения стволов главного подъемного комплекса шахты “Соколовская”. Зоны интенсивных деформаций мигрируют в зоне обрушения и выходят за

пределы отстроенных границ по нормативным углам обрушения и сдвижения, проявляясь локальными участками. Деформационные процессы земной поверхности Соколовского месторождения развиваются с довольно низкими параметрами, чему способствует засыпка скальной породой воронок обрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кантемиров Ю. И., Баранов Ю. Б., Билянский В. В., Киселевский Е. В., Никифоров С. Э., Ланцл Р. Результаты мониторинга смещений земной поверхности и деформаций зданий и сооружений в г. Новый Уренгой по данным TerraSAB-X // Геоматика. — 2010. — № 1. — С. 73–79.
2. Васильев Ю. В., Филатов А. В. Выявление зон локальных деформаций методом радарной интерферометрии по результатам мониторинга на Самотлорском геодинамическом полигоне // Маркшейдерский вестник. — 2016. — № 3. — С. 38–46.
3. Кантемиров Ю. И., Камза А. Т., Бермуханова А. М., Тогайбеков А. Ж., Сапарбекова М. А., Никифоров С. Э. Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности на примере одного из нефтяных месторождений Мангистауской области Республики Казахстан // Геоматика. — 2014. — № 4. — С. 46–58.
4. Исаченко О. С., Верин С. В., Раков А. И. Соколовский подземный рудник // Горн. журн. — 2004. — № 7. — С. 37–42.
5. Усанов С. В., Усанова А. В. Мониторинг сдвижения поверхности при ликвидации и затоплении горных выработок Лебяжинского месторождения // Горн. журн. — 2017. — № 1. — С. 18–22.
6. Усанов С. В. Мониторинг геодинамических движений горного массива Высокогорского железорудного месторождения при масштабном техногенном воздействии сложного горнодобывающего комплекса // ГИАБ. — 2014. — № 10. — С. 208–213.
7. Балек А. Е. Явление самоорганизации деформационных полей массивов горных пород и его использование при решении задач геомеханики // Проблемы недропользования. — 2016. — № 4. — С. 90–96.
8. Сашурин А. Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород // Проблемы недропользования. — 2015. — № 1. — С. 38–44.
9. Усанова А. В. Особенности исследования деформаций поверхности при подземной разработке Соколовского железорудного месторождения на основе архивных радарных снимков // Маркшейдерия и недропользование. — 2018. — № 3. — С. 29–35.
10. Кашников Ю. А., Мусихин В. В., Лысков И. А. Определение оседаний земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых по данным радарной интерферометрии // ФТПРПИ. — 2012. — № 4. — С. 68–77.

Поступила в редакцию 17/V 2018