

Код МРНТИ 89.57.45

*А.А. Алтаева¹, Б.Б. Садыков², А.Б. Даркенбаева³, А. Таскара¹¹ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан),²ТОО «Leica Geosystems Kazakhstan» (г. Алматы, Казахстан),³Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Казахстан)

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы определения смещений и деформаций земной поверхности современными геодезическими методами на территории рудного месторождения. Приведены данные вертикальных подвижек земной поверхности на территории Орловского рудника. Представлены результаты высокоточного нивелирования за период с 2003 г. по 2019 г., позволившие построить графики вертикальных смещений и выполнить анализ изменения положения геодезических реперов. Анализ показал, что на исследуемой территории выявлена зона интенсивного оседания земной поверхности – в районе профильной линии 6ЛШ. Выявленные особенности современных вертикальных движений земной поверхности в зоне профильной линии обусловлены отработкой междуканнерных целиков верхних горизонтов и отработкой руд нижних горизонтов.

Ключевые слова: мониторинг, смещения земной поверхности, деформация, высокоточное нивелирование, мульда сдвижения, профильные линии, инструментальные наблюдения.

Орловск кенорнында жер бетінің деформациялық процесстерін аспаптық бақылау

Аңдатпа. Бұл мақалада кен орны аумағында заманауи геодезиялық әдістерді қолдана отырып, жер бетінің жылжуын және деформациясын анықтау мәселелері қарастырылған. Орловск кенінің аумағындағы жер бетінің тік қозғалыстары туралы деректер келтірілген. 2003 жылдан 2019 жылға дейінгі кезеңдегі жоғары дәлдіктегі нивелирлеудің нәтижелері ұсынылған, бұл тік жылжулардың графиктерін құруға және геодезиялық эталондардың жағдайындағы өзгерістерді талдауға мүмкіндік берді. Жүргізілген талдау нәтижесінде, жер бетінің қарқынды шөгү аймағы 6ЛШ профиль сызығы аймағында екені анықталды. Профильдік сызық аймағындағы жер бетінің қазіргі заманғы тік қозғалыстарының анықталған ерекшеліктері жоғарғы горизонттардың камера аралық тіректерін өндіруге және төменгі горизонттардың кендерін өндіруге байланысты.

Түйінді сөздер: бақылау, жер бетінің жылжуы, деформация, жоғарғы дәлдікті нивелирлеу, жылжу мұлдасы, профильдік сызықтар, аспаптық бақылаулар.

Instrumental observations of deformation processes of the earth's surface at the Orlovs'k field

Abstract. This article discusses the issues of determining displacements and deformations of the earth's surface using modern geodetic methods in the territory of an ore deposit. Data on vertical movements of the earth's surface on the territory of the Orlovs'k mine are presented. The results of high-precision leveling for the period from 2003 to 2019 are presented, which made it possible to construct graphs of vertical displacements and analyze changes in the position of geodetic benchmarks. The analysis showed that a zone of intense subsidence of the earth's surface was identified in the study area - in the area of profile line 6LSH. The identified features of modern vertical movements of the earth's surface in the zone of the profile line are due to the mining of inter-chamber pillars of the upper horizons and the mining of ores of the lower horizons

Key words: monitoring, displacement of the earth's surface, deformation, high-precision leveling, displacement trough, profile lines, instrumental observations.

Введение

В настоящее время многие горнодобывающие месторождения перешли к разработке глубокозалегающих сложноструктурных руд, а также вовлекают в добычу полезные ископаемые, расположенные в труднодоступных районах.

Однако, геомеханические и геотехнические процессы осложняют добычу, создавая угрозу для безопасного ведения горных работ, приводя к потерям руды, вызывая разрушение конструктивных элементов горных выработок и повреждения объектов на поверхности. При этом страдают не только инженерные сооружения и здания, неся за собой громадный экономический ущерб, но и возможны невосполнимые человеческие жертвы.

Предотвращение таких проблем в подземном способе разработки месторождений требует ведения постоянного мониторинга за деформациями земной поверхности и горнотехническими объектами, что является одним из основных условий обеспечения безопасности и повышения эффективности горного производства [1].

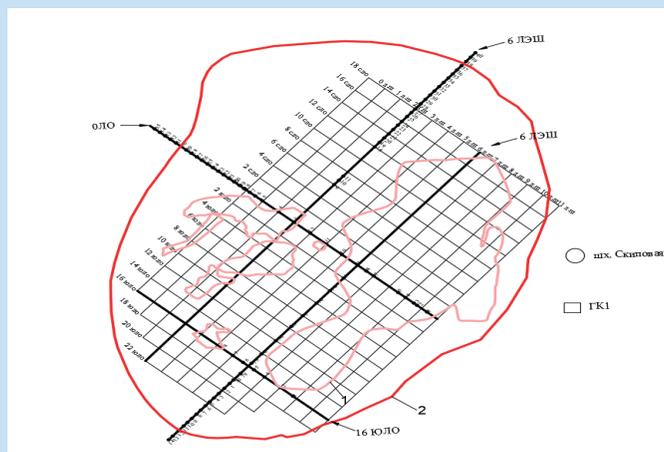
В современных условиях горного производства для проведения мониторинга за деформациями земной поверхности и горнотехнических объектов используют различные маркшейдерско-геодезические методы, в том числе традиционные методы (нивелиры, тахеометры), фотограмметрические (лазерное сканирование, аэрофото-

съемка с применением беспилотного летательного аппарата) и радиолокационные наблюдения (GPS, спутниковая радиолокационная интерферометрия) [2, 3].

Имеющийся на сегодняшний день достаточно большой опыт геодезического мониторинга деформационных процессов на месторождениях показывает [4, 5], что оседание земной поверхности широко распространено при длительном освоении рудных месторождений и для подавляющего большинства скорости техногенных оседаний составляет 1–2 см/год, а накопленные величины не превышают первых десятков сантиметров. Последствиями таких деформационных процессов могут быть активизация оползневых процессов, появление опасных зон, мульды сдвижения и т.д. [6, 7].

Одним из примеров интенсивного ведения добычных работ на протяжении многих десятилетий является территория Орловского месторождения, в котором образовались обширные сдвижения горных пород, а также оседания и обрушения земной поверхности. Поэтому целью данной статьи является исследование вертикальных смещений земной поверхности и горных пород с применением современных инструментальных технологий.

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности и горных пород на Орловском производственном комплексе начаты в 1991 году после образования провала земной поверхности на пересечении восьмой линии штреков (8ЛШ) и нулевой линии ортов (ОЛО) (рис. 1).



1 – контур рудных залежей; 2 – границы мульды сдвига

Рис. 1. План наблюдательной станции Орловского рудника.

Сурет 1. Орловск шахтасының бақылау станциясының жоспары.

Figure 1. Plan of the Orlovsk'k mine observation station.

В 2001 году наблюдения всех предыдущих серий были приведены к требованиям п.5,2 Инструкции по наблюдениям за сдвижением горных пород 1988 г. [8], в части того, что при определении вертикальных сдвижений знак (+) означает оседание, знак (-) – поднятие.

В 2002 году, дополнительно к имеющимся реперам на земной поверхности I были заложены 12 ственных реперов в цокольных частях копров шахт «Орловская», «Скиповая» и «Северная», по 4 репера на каждый копер. При производстве наблюдений 2002 года эти репера были включены в общую систему наблюдательной станции Орловского рудника. В этом же году из ведомостей сдвигажения исключены явно ошибочные измерения отдельных периодов, что позволило привести в стройную систему более чем 10-летнего периода.

В 2016 г. в ходе проведения полевых работ, на земной поверхности Орловского месторождения создано 4 профильные линии, опирающиеся на твердые пункты (опорные репера профильных линий).

Характеристика этих ходов приведена в нижеследующей таблице 1.

Величины полученных фактических невязок нивелирных ходов удовлетворяют требованиям п.2.2, 2.3 «Инструкции по наблюдениям за сдвижением» [9].

Материалы и методы

В настоящее время основными геодезическими методами мониторинга за деформациями земной поверхности подземных горных работ являются: наземные инструментальные наблюдения (нивелирование, тахеометры и т. д.), технологии глобальных спутниковых радиолокационных систем (радиолокационная интерферометрия), аэрофотосъемка (аэрофотосъемочный самолет Ан-30, самолет KingAir, вертолет Ка-26, беспилотник Air-Сon 2), наземное лазерное сканирование. Помимо вышеперечисленных методов геодезических наблюдений используют визуальное наблюдение.

В данной работе рассмотрен актуальный вопрос сдвигажения земной поверхности, выполняемый методами неоднократного высокоточного нивелирования.

Результаты и обсуждения

По результатам инструментальных наблюдений на Орловском месторождении за период 2003–2019 гг. было выполнено 16 серий инструментального мониторинга по 4-м профильным линиям: 2ЛЭШ, ОЛО, 6ЛШ, 16ЮЛО.

По каждой из профильных линий проведено 16 серий измерений за период с 12.03.2003 г. по 28.05.2019 г. Подробные результаты измерений представлены в отчетах ТОО «Востокцветмет» Орловского производственного комплекса [10].

Далее по результатам полученных данных были выполнены уравнивания превышений между реперами по всем

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

Характеристика ходов нивелирования

Нивелирлеу жүрістерінің сипаттамасы

Characteristics of leveling strokes

№ ходов	Начальный и конечный репер ходов	Длина ходов, км	Допустимая невязка ходов, мм $F_{доп.} = \pm 50\sqrt{L}$	Фактическая невязка, мм
1	R-22 2ЛШ R-40 2ЛШ	3,0	86,6	84,13
2	R-10-13; R-30 6ЛШ R-2-8 6ЛШ	6,7	129,4	26,9
3	R-1-5 17ЮЛО R-1 17ЮЛО	1,0	50	20,58
4	R-8 12ЮЛО	0,13	18	1,4
5	R-2-7 16ЮЛО R-2 16ЮЛО	1,8	67	23,4

профильным линиям с данными всех циклов наблюдений, начиная с 2003 года [11, 12].

Профильная линия 6ЛШ

По профильной линии 6ЛШ наблюдения ведутся по 22-м рабочим реперам. В 2000 году рабочий репер 9 после заметного оседания уничтожился. Также, были исключены следующие наблюдательные репера в связи уничтожением: 9, 5 и 14. На рис. 3 показан график вертикальных деформаций и изменения наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ за период с 2000 г. по 2019 г., т. к. данная профильная линия находится в зоне интенсивного оседания земной поверхности.

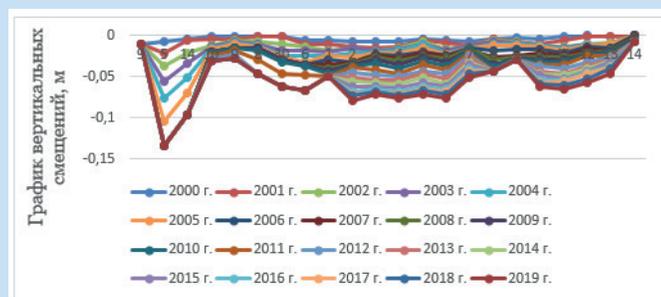


Рис. 2. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии 6ЛШ за период с 2000 г. по 2019 г.

Сурет 2. 2000–2019 жылдар аралығындағы 6ЛШ профиль сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 2. Graph of vertical deformations of observation benchmarks of profile line 6LSh for the period from 2000 to 2019.

Также, в таблице 2 показано динамическое состояние наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ.

Согласно таблицы 7 наблюдательные репера профильной линии 6ЛШ находятся в зоне интенсивного оседания, о чем свидетельствует уничтожение следующих наблюдательных реперов 9*, 5*, 14*, 8, 9, 14 в 2012 г., также, наблюдательные репера 10*, 9*, 8*, 30, 6* в 9-й серии наблюдений, но в 11-й серии 10* наблюдательный репер, и в 12-й серии вышперечисленные репера были заново заложены. Однако, после 3-х серий измерений данные репера также уничтожились. Для более детального анализа необходимо провести мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

По профильной линии 0ЛО наблюдения ведутся по 20-ти рабочим реперам. В 2012 году рабочие репера 35, 25, 23, 20, 15 из за интенсивного оседания были уничтожены. В 2013 году рабочие репера 28, 19, 18, 17, 16 также были уничтожены. Однако, в 2014 году все существующие репера были полностью уничтожены (рис. 3).

Анализ оседаний по профильной линии 0ЛО, полученных по результатам многократного нивелирования, показывает, что интенсивные оседания земной поверхности наблюдаются в 2012 г. (рис. 3). Необходимо отметить, что с активном ведением горных работ в 2014 году все существующие рабочие репера были уничтожены. В связи с этим, для более детального анализа необходимо провести

мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

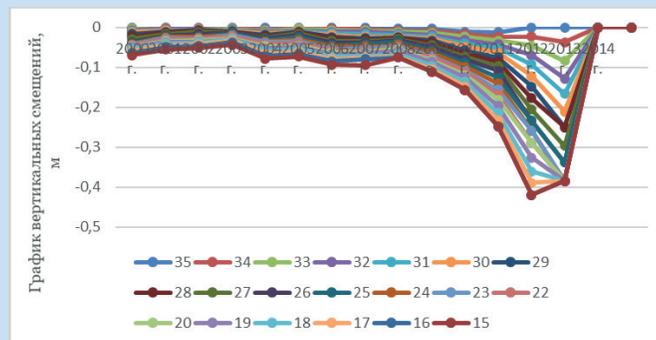


Рис. 3. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии 0ЛО за период с 2000 г. по 2014 г.

Сурет 3. 2000–2014 жылдар аралығындағы 0ЛО профиль сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 3. Graph of vertical deformations of observation benchmarks of profile line 0LO for the period from 2000 to 2014.

Профильная линия 2ЛЭШ

По профильной линии 2ЛЭШ наблюдения ведутся от 13* до 40 рабочих реперов. В 2007 году из за интенсивного ведения горных работ рабочие репера 9, 10, 11, 18, 31 и 36 были уничтожены. В 2014 году также были уничтожены 21, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40 репера. Подробный график сравнения полученных в результате уравнивания превышений между реперами профильной линии с данными всех циклов с 2000 года приведен на рис. 4.

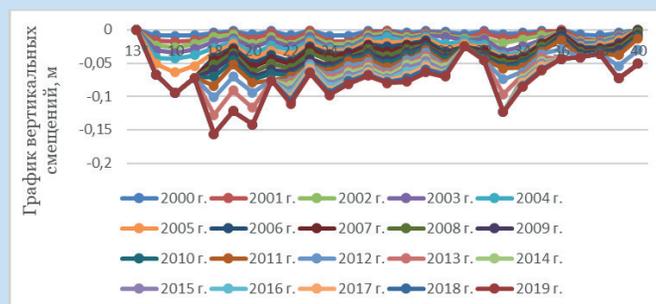


Рис. 4. График вертикальных деформаций наблюдательных реперов профильной линии 2ЛЭШ за период с 2000 г. по 2019 г.

Сурет 4. 2000–2019 жылдар аралығындағы 2ЛЭШ профильді сызығының бақылау көрсеткіштерінің тік деформацияларының графигі.

Figure 4. Graph of vertical deformations of observation benchmarks of the 2LESH profile line for the period from 2000 to 2019.

Анализ результатов, полученных по результатам многократного нивелирования, показывает, что интенсивные оседания земной поверхности наблюдаются в 2006 и 2013 годах (рис. 4). Также, в 2015 году 13*, 9, 10, 11, 18, 36, 37,

Состояние наблюдательных реперов по профильной линии 6ЛШ

Таблица 2

6ЛШ профиль сызығы бойынша бақылау реперлерінің күйі

Кесте 2

State of observation markers along profile line 6LSH

Table 2

РЕПЕРА	Серия																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
9*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
14*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9**	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
30	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6*	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
13	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
14	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Новые	22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
Действующие	0	20	20	20	20	20	20	19	14	14	16	15	17	15	10	10	10	10	10
Уничтоженные	0	2	0	2	2	2	2	2	8	8	5	3	5	7	12	12	12	12	12

38, 39 и 40 рабочие репера уничтожились. Для детального анализа необходимо провести мониторинг методом космической радиолокационной интерферометрии.

Необходимо отметить, что при подземной разработке рудных месторождений нарушается устойчивость вмещающих пород и в области влияния горных выработок возникает сдвигание породной массы. По мере увеличения размеров выработанного пространства область влияния горных выработок увеличивается и процесс сдвигания пород достигает земной поверхности. Различные точки в толще пород и на земной поверхности сдвигаются не одинаково, в результате возникают вертикальные (наклоны, кривизна) и горизонтальные (растяжения, сжатия) деформации, трещины, уступы, провалы. Чтобы прогнозировать возможные развития критических ситуаций обязательно нужно знать величины сдвижений и деформаций земной поверхности, для этого необходимо выполнять системати-

ческий мониторинг в соответствии с требованиями «Инструкции по наблюдению за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений». В соответствии с этой инструкцией перед началом горных работ проводят закладку рабочих реперов по основным профильным линиям, расположенным по простиранию и вкрест рудной залежи. Как правило, по простиранию – одна профильная линия, вкрест простирания – две.

К примеру (рис. 1) на земной поверхности Орловского месторождения имеются одна профильная линия вкрест простирания ОЛО (нулевая линия орта) и две профильные линии по простиранию 8ЛШ (восьмая линия штрека) и 2ЛШ (вторая линия штрека).

При таком построении значительная часть земной поверхности оказывается вне мониторинга, осуществляемого через наблюдательные станции основных профильных

линий. В то же время, по мере освоения месторождения расширяется площадь поверхности, попадающей в зону влияния инициированных горными работами геомеханических процессов. Ситуация усугубляется большой потерей на профильных линиях рабочих реперов. На рис. 5 показано процентное соотношение новых, действующих, согнутых, затопленных и уничтоженных реперов по 16-ти сериям наблюдений для всех наблюдательных станций Орловского месторождения.

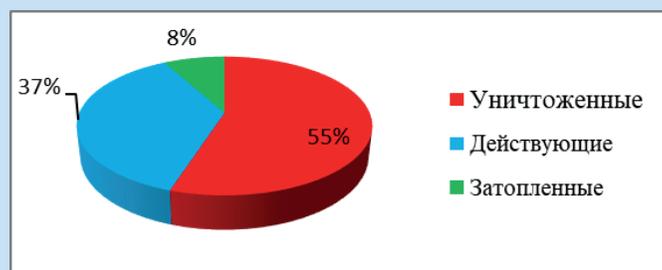


Рис. 5. Процентное соотношение уничтоженных, действующих, новых и затопленных наблюдательных реперов.

Сурет 5. Жойылған, белсенді, жаңа және батқан бакылау көрсеткіштерінің пайызы.

Figure 5. Percentage of destroyed, active, new and sunk observation markers.

В связи с этим возникает необходимость построения дополнительных профильных линий для поддержания эффективности мониторинга.

По инструкции места закладки дополнительных профильных линий устанавливаются, исходя из конкретных задач, которые необходимо решить на месторождении, на расстоянии, равном 3–5 принятым интервалам между реперами. Построение дополнительных профильных линий с закладкой новых наблюдательных станций, организация и проведение на них высокоточного нивелирования в разы увеличивает затраты на мониторинг. Рациональная концепция предлагаемого геодезического мониторинга заключается в целенаправленном выборе дополнительной профильной линии, ориентированной на проблемные участки поверхности, выявленной зонным районированием.

Для каждой точки земной поверхности значение потенциала выносится на план. На плане методом экстраполяции соединяют точки с одинаковым значением потенциала изолиниями. Такие линии являются эквипотенциальными и описываются уравнением $\varphi(x, y) = const$. Эквипотенциальную линию можно провести через любую точку поверхности месторождения. Следовательно, таких линий может быть построено бесконечное множество. Поэтому, уславливают проводить линии так, чтобы разность потенциалов для двух соседних линий была бы одна и та же. По сгущению изолиний можно судить об интенсивности ожидаемого развития процесса горных пород. Направление наибольшего сгущения линий по определению указывает градиент потенциала. Чем больше градиент, тем больше густота сгущения. Для ранжирования зон по степени проблемности в соответствии с решаемой задачей определяется количество уровней проблемности N , на которой не-

обходимо разделить поверхность месторождения, откуда вытекает количество граничных критериев $l (N = l + 1)$.

Численное значение критерия зонирования для каждого месторождения устанавливается на основе ретроспективного, причинно-следственного анализа происходящих геодинамических событий, с учетом структурных особенностей массива горных пород (геологическое строение, тектоническое нарушение, трещиноватость, применяемые системы разработок), физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния горного массива. Критерий принимается единым по всему месторождению.

Как показывает практика зонирования, оптимальный вариант деления на три уровня проблемности (рис. 6):

1-3 – неопасный (зеленый);

2-О – опасный (оранжевый);

3-К – особо опасный (красный).

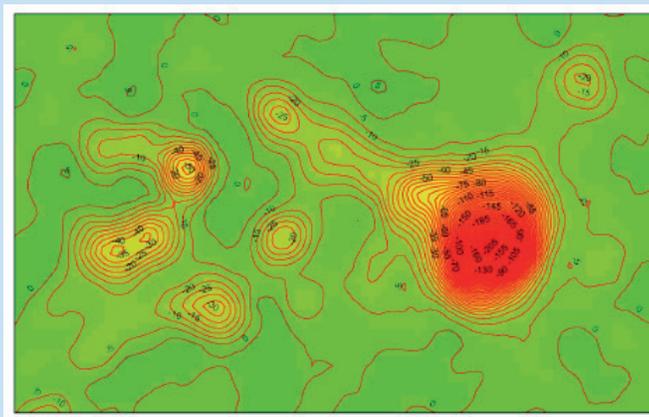


Рис. 6. Зоны наибольшего риска поверхности месторождения.

Сурет 6. Кен орны бетінің ең қауіпті аймақтары.

Figure 6. Areas of greatest risk of the deposit surface.

В этом случае устанавливаются два численных значения K_1 и K_2 . На плане месторождения зоны по уровням разделяются эквипотенциальными линиями $\varphi(x, y) = K_1$ и $\varphi(x, y) = K_2$. Для детализации районирования уровни квантуются на подуровни с одинаковой разностью потенциала $\Delta\varphi$ между собой, определяемой:

$$\Delta\varphi = \frac{K_2 - K_1}{h},$$

где h – число подуровней. Каждый подуровень зоны обозначается латинскими буквами: a (граничный) $b, c, d, f \dots$

Зоны одного уровня проблемности ранжируются по мере возрастания потенциала граничной изолинии с присвоением порядкового номера. Точки наблюдения индексируются по следующей схеме: буква означает уровень опасности зоны, последующая цифра – порядковый номер зоны уровня, латинская буква – подуровень зоны, следующая цифра – порядковый номер точки на подуровне (Пример: O2d1).

Выводы

Результаты инструментального наблюдения за деформационными процессами земной поверхности Ор-

ловского месторождения позволяют сделать следующий вывод:

- установлено, что при отработке залежи Новое-Север скорость оседания профильной линии ОЛО увеличивается пропорционально времени и носит экспоненциальный характер;

- по результатам инструментальных наблюдений выявлена зона интенсивного оседания земной поверхности – в районе профильной линии БЛШ. Выявленные особенности современных вертикальных движений земной поверхности в зоне профильной линии обусловлены отработкой междукламерных целиков верхних горизонтов и отработкой руд нижних горизонтов;

- имеющиеся поперечные и продольные профильные линии на поверхности месторождения не достаточны для выполнения полноценного инструментального наблюдения, поэтому необходимо построить дополнительные линии;

- для оптимального выбора точек наблюдений необходимо воспользоваться преимуществами профильных линий и возможностями навигационных линий измерений, объединив их в единую систему. Все точки наблюдения, находящиеся на одной изолинии, по условиям районирования идентичны по отношению к проблемности исследуемого участка поверхности. Более того, участки земной поверхности, относящиеся к разным зонам, но лежащие

на эквипотенциальных линиях одной величины, также являются идентичными по отношению к проблемности своего состояния. Поэтому геодезические наблюдения за сдвижением земной поверхности могут ограничиваться мониторингом состояния одного произвольно выбранного участка, транслируя результаты измерений на соответствующие идентичные участки. Это позволяет значительно уменьшить время мониторинга всей поверхности и увеличить частоту измерений за счет его локализации и значительно снизить затраты. Информативность и объективность результата мониторинга напрямую зависит от оптимального выбора на поверхности месторождения мест геодезических наблюдений.

Статья написана по результатам диссертационной работы автора статьи Алтаевой А.А. на тему: «Совершенствование методики геодезических наблюдений земной поверхности Орловского рудника с применением ГИС-технологий», г. Алматы, 2022 г.

Благодарность

Автор выражает благодарность сотрудникам геотехнического отдела Орловского производственного комплекса ТОО «Востокцветмет», сотрудникам отдела геомеханики Института горного дела имени Д.А. Кунаева за помощь при написании и подготовке статьи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wetrep J. Применение радиолокационной интерферометрии с синтезированной апертурой для мониторинга оседания горных пород на западе США / *Международный журнал горной науки и технологий*. 2020. Т. 30. Вып. 1. С. 33–37 (на английском языке)
2. Филипяк К. Мониторинг проседания грунта, вызванного добычей полезных ископаемых, путем интеграции дифференциальной радиолокационной интерферометрии и методов постоянного рассеивателя // *Европейский журнал дистанционного зондирования*. 2021. Т. 54. С. 241–245 (на английском языке)
3. Нараян Сангам. Исследования ДЗЗ и ГИС при разведке полезных ископаемых – научный подход // *VFSTR Journal of STEM*. 2017. Т. 3. № 1. С. 15–17 (на английском языке)
4. Экологический кодекс Республики Казахстан. Принципы международного сотрудничества Республики Казахстан в области охраны окружающей среды: утв. 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК 22.03.2021 (на русском языке)
5. Экологический кодекс Республики Казахстан. Экологическая информация: утв. 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК 23.10.2020 (на русском языке)
6. Пономаренко М.Р., Одабаи-Фард В.В. Геодинамический мониторинг земной поверхности объектов горнодобывающей промышленности при помощи метода радарной интерферометрии // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 11. С. 59–67 (на русском языке)
7. Чабдарова Ю.И., Шамганова Л.С., Тулебаев К.К., Битимбаев М.Ж. Динамика деформационных процессов и параметры сдвижения земной поверхности при повторной отработке камерно-столбовой системой // *Матер. между. научн. конф. «Инженерное образование и наука в 21 веке: Проблемы и перспективы»*, Алматы, 2015. С. 255–258 (на русском языке)
8. Орлов Г.В. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки: М.: Недра, 2017. 198 с. (на русском языке)
9. Построение цифровых моделей рельефа по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR. / Ю.Б. Баранов [и др.] // *Геоматика*. 2016. № 4. С. 358–361 (на русском языке)
10. Отчет о наблюдениях за сдвижением земной поверхности и охраняемых объектов на Орловском производственном комплексе. Исп. Мусатаева С.Ж., п. Жезкент, 2016, С. 10–19 (на русском языке)
11. Алтаева А.А., Шамганова Л.С., Жирнов А.А. Цифровое моделирование поверхности Орловского месторождения с использованием геоинформационных технологий // *Горный журнал*. 2019. № 4. С. 77–80 (на английском языке)

12. Алтаева А.А. Применение спутниковой радиолокационной интерферометрии в горнодобывающей промышленности // *Материалы международной научной конференции. «Инновационные технологии – залог успешного решения фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики Республики Казахстан»*, Алматы, 2019. Т. 1. С. 1013–1014 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Wempen J. АҚШ-тың батысындағы шахтаның шөгуді бақылау үшін синтетикалық диафрагмалық радар интерферометриясын қолдану // *Тау-кен ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы*. 2020. Т. 30. Шығ. 1. Б. 33–37 (ағылшын тілінде)
2. Filipiak K. Дифференциалды радар интерферометриясын және тұрақты шашырау әдістерін біріктіру арқылы тау-кен өндіруден туындаған шөгуді бақылау // *Еуропалық қашықтықтан зондтау журналы*. 2021. Т. 54. Б. 241–245 (ағылшын тілінде)
3. Нараян Сангам. Пайдалы қазбаларды барлаудағы RS және GIS зерттеулері – ғылыми көзқарас // *VFSTR Journal of STEM*. 2017. Т. 3. № 1. Б. 15–17 (ағылшын тілінде)
4. Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі. Қазақстан Республикасының қоршаған ортаны қорғау саласындағы халықаралық ынтымақтастығы қағидаттары: бекітілді. 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ЗРК 22.03.2021 (орыс тілінде)
5. Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі. Қоршаған орта туралы ақпарат: бекітілген. 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ЗРК 23.10.2020 (орыс тілінде)
6. Пономаренко М.Р., Одабаи-Фард В.В. Радиолокациялық интерферометрия әдісімен тау-кен өнеркәсібі объектілерінің жер бетінің геодинамикалық мониторингі // *Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень*. 2017. № 11. Б. 59–67 (орыс тілінде)
7. Чабдарова Ю.И., Шамганова Л.С., Төлебаев Қ.Қ., Бітімбаев М.Ж. Бөлме-бағаналы жүйемен қайталап қазу кезінде деформациялық процестердің динамикасы және жер бетінің жылжу параметрлері // *Халықаралық ғылыми конференция материалдары «21 ғасырдағы инженерлік білім және ғылым: мәселелері мен болашағы»*, Алматы, 2015. Б. 255–258 (орыс тілінде)
8. Орлов Г.В. Жер асты қазбаларының әсерінен тау жыныстары мен жер бетінің қозғалысы: М.: Недра, 2017, 198 б. (орыс тілінде)
9. ALOS PALSAR радиолокациялық кескіндерін интерферометриялық өңдеу нәтижелері бойынша цифрлық рельефті құру / Ю. Баранов [және т. б.] // *Геоматика*. 2016. № 4. Б. 358–361 (орыс тілінде)
10. Орел өнеркәсіп кешеніндегі жер бетінің және қорғалатын объектілердің қозғалысын бақылау туралы есеп. Орынд. Мұсатаева С.Ж., Жезкент, 2016, Б. 10–19 (орыс тілінде)
11. Алтаева А.А., Шамганова Л.С., Журнов А.А. Орлов кен орны бетін геоақпараттық технологиялар арқылы цифрлық модельдеу // *Тау-кен журналы*. 2019. № 4. Б. 77–80 (ағылшын тілінде)
12. Алтаева А.А. Тау-кен өнеркәсібінде спутниктік радиолокациялық интерферометрияны қолдану // *Халықаралық ғылыми конференция материалдары «Инновациялық технологиялар – Қазақстан Республикасы экономикасының кен және мұнай-газ секторындағы іргелі және қолданбалы міндеттерді табысты шешудің кепілі»*, Алматы, 2019. Т. 1. Б. 1013–1014 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Wempen J. Application of synthetic aperture radar interferometry for mine subsidence monitoring in the western United States / *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. V. 30. Issue 1. 33–37 pp. (in English)
2. Filipiak K. Monitoring mining-induced subsidence by integrating differential radar interferometry and persistent scatterer techniques // *European journal of remote sensing*. 2021. V. 54. 241–245 pp. (in English)
3. Narayan Sangam. RS and GIS Studies in Mineral Exploration – a Scientific Approach // *VFSTR Journal of STEM*. 2017. V. 3. No. 1. 15–17 pp. (in English)
4. *Ekologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan. Printsipy mezhdunarodnogo sotrudnichestva Respubliki Kazakhstan v oblasti okhrany okruzhayushchei sredy: utv. 2 yanvarya 2021 goda, № 400-VI ZRK 22.03.2021* [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Principles of international cooperation of the Republic of Kazakhstan in the field of environmental protection: approved. January 2, 2021, No. 400-VI ZRK 03/22/2021] (in Russian)
5. *Ekologicheskii kodeks Respubliki Kazakhstan. Ekologicheskaya informatsiya: utv. 2 yanvarya 2021 goda, № 400-VI ZRK 23.10.2020* [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Environmental information: approved. January 2, 2021, No. 400-VI ZRK 10/23/2020] (in Russian)

6. Ponomarenko M.R., Odabai-Fard V.V. *Geodinamicheskii monitoring zemnoi poverkhnosti ob"ektov gornodobyvayushchei promyshlennosti pri pomoshchi metoda radarnoi interferometrii* [Geodynamic monitoring of the earth's surface of mining industry objects using the radar interferometry method], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2017. No. 11. 59–67 pp. (in Russian)
7. Chabdarova Yu.I., Shamganova L.S., Tulebaev K.K., Bitimbaev M.Zh. *Dinamika deformatsionnykh protsessov i parametry sdvizheniya zemnoi poverkhnosti pri povtornoii obrabotke kamerno-stolbovoi sistemoi* [Dynamics of deformation processes and parameters of displacement of the earth's surface during repeated mining with a room-and-pillar system], *Mater. mezhd. nauchn. konf. «Inzhenernoe obrazovanie i nauka v 21 veke: Problemy i perspektivy»* [Proceedings of the international scientific conference. «Engineering education and science in the 21st century: Problems and prospects»], *Almaty, 2015. 255–258 pp.* (in Russian)
8. Orlov G.V. *Sdvizhenie gornykh porod i zemnoi poverkhnosti pod vliyaniem podzemnoi razrabotki* [Movement of rocks and the earth's surface under the influence of underground mining], *Moscow: Nedra, 2017, 198 p.* (in Russian)
9. *Postroenie tsifrovyykh modelei rel'efa po rezul'tatam interferometricheskoi obrabotki radiolokatsionnykh izobrazhenii ALOS PALSAR* [Construction of digital terrain models based on the results of interferometric processing of ALOS PALSAR radar images], Yu.B. Baranov [and others] // *Geomatika* [Geomatics]. 2016. No. 4. 358–361 pp. (in Russian)
10. *Otchet o nablyudeniyyakh za sdvizheniem zemnoi poverkhnosti i okhranyaemykh ob"ektov na Orlovskom proizvodstvennom komplekse. Isp. Musataeva S.Zh., p. Zhezkent, 2016, S. 10–19* [Report on observations of the movement of the earth's surface and protected objects at the Oryol industrial complex. Performer: Musataeva S.Zh., Zhezkent, 2016, 10–19 pp.] (in Russian)
11. Altaeva A.A., Shamganova L.S., Zhirnov A.A. *Digital simulation of the Orlov deposit surface using geoinformation technologies* // *Mining magazine. 2019. No. 4. 77–80 pp.* (in English)
12. *Altayeva A.A. The use of satellite radar interferometry in the mining industry. // Materials of the international scientific conference «Innovative technologies – the key to the successful solution of fundamental and applied problems in the ore and oil and gas sectors of the economy of the Republic of Kazakhstan», Almaty, 2019. V. 1. 1013–1014 pp.* (in English)

Сведения об авторах:

Алтаева А.А., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *a.aselya_92@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-1675-6828>

Садықов Б.Б., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Leica Geosystems Қазақстан» (г. Алматы, Қазақстан), *baturkhan_sadykov@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0003-2037-247X>

Даркенбаева А.Б., докторант кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Қазақстан), *darkenbayevaasel@gmail.com*; <https://orcid.org/0009-0001-7115-8951>

Тасқара А., студент кафедры «Геодезия и картография, кадастр», ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Қазақстан), *taskara_a@mail.ru*; <https://orcid.org/0009-0004-3556-6351>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алтаева А.А., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Садықов Б.Б., Ph.D, қауымдастырылған профессор, «Leica Geosystems Қазақстан» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Даркенбаева А.Б., «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының докторанты Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Тасқара А., Геодезия және картография, кадастр кафедрасының студенті, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Altayeva A.A., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

Sadykov B.B., Ph.D doctor, associate professor, Leica Geosystems Kazakhstan LLP (Almaty, Kazakhstan)

Darkenbaeva A.B., doctoral student of the Department of Land Resources and Cadastre, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan)

Taskara A., student of the Department of Geodesy and Cartography, Cadastre of the International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)