

УДК 622.148

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПРИ ПОВТОРНОЙ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Н. Ф. Низаметдинов<sup>1</sup>, В. Д. Барышников<sup>2</sup>, Р. Ф. Низаметдинов<sup>1</sup>,  
М. Б. Игемберлина<sup>3</sup>, Х. Станкова<sup>4</sup>, Ж. М. Батыршаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Карагандинский технический университет,*

E-mail: mdig\_kstu@mail.ru, просп. Н. Назарбаева 56, 100000, г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,*

E-mail: v-baryshnikov@yandex.ru, Красный проспект, 54, 630090, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби,*

E-mail: igemberlina@mail.ru, просп. Аль-Фараби, 71, 050040, г. Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>*Остравский технический университет,*

E-mail: hana.stankova@vsb.cz, 17.listopadu 2172/15, 708 00, г. Острава-Поруба, Чешская Республика

Исследован процесс сдвижения земной поверхности меднорудного Жезказганского месторождения, где ведется отработка столбчатых междукамерных целиков. Предложена методика высокоточного нивелирования с помощью цифрового нивелира и инварных реек по созданному геодезическому полигону в поселках Жезказган и Лермонтово. Конструкция металлических реперов имеет прочную связь с массивом за счет бетонирования нижней его части. Полученные результаты наблюдений позволили установить смещения земной поверхности и определить их значения.

*Сдвигение земной поверхности, наблюдательная станция, профильная линия, репер, геометрическое нивелирование, инварная рейка, оседание*

DOI: 10.15372/FTPRPI20210202

Проведение геодезического мониторинга за сдвижением и деформациями земной поверхности в условиях повторной подработки Жезказганского месторождения с применением камерно-столбовой системы разработки актуально в связи с достаточно плотной застройкой земной поверхности промышленными объектами и инженерными коммуникациями. Наиболее приемлемой по горно-геологическим и горнотехническим условиям является камерно-столбовая система разработки с оставлением столбчатых междукамерных (МКЦ) и барьерных целиков (рис. 1). Оставленные в отработанном пространстве целики со временем становятся местом концентрации напряжений, вызывающих динамическое проявление горного давления. Концентрация напряжений в них увеличивается с ростом глубины горных работ. Длительное применение камерно-столбовой системы разработки привело к образованию значительного объема подземных пустот, в связи с чем начиная с 1990-х годов на месторождении принята «Концепция по планомерному погашению пустот» [1, 2]. Следует отметить, что последние 10–15 лет на рудниках Жезказганского месторождения широко применяется технология извлечения запасов из МКЦ с обрушением налегающих пород. В условиях большой глубины разработки влияние повторной отработки на земную поверхность не выходит за пределы допу-

стимых норм. Однако сдвигание горных пород в районе ведения повторной отработки месторождений представляет собой потенциально опасный процесс, требующий научной организации по проведению мониторинга за деформациями земной поверхности [1, 3, 4].

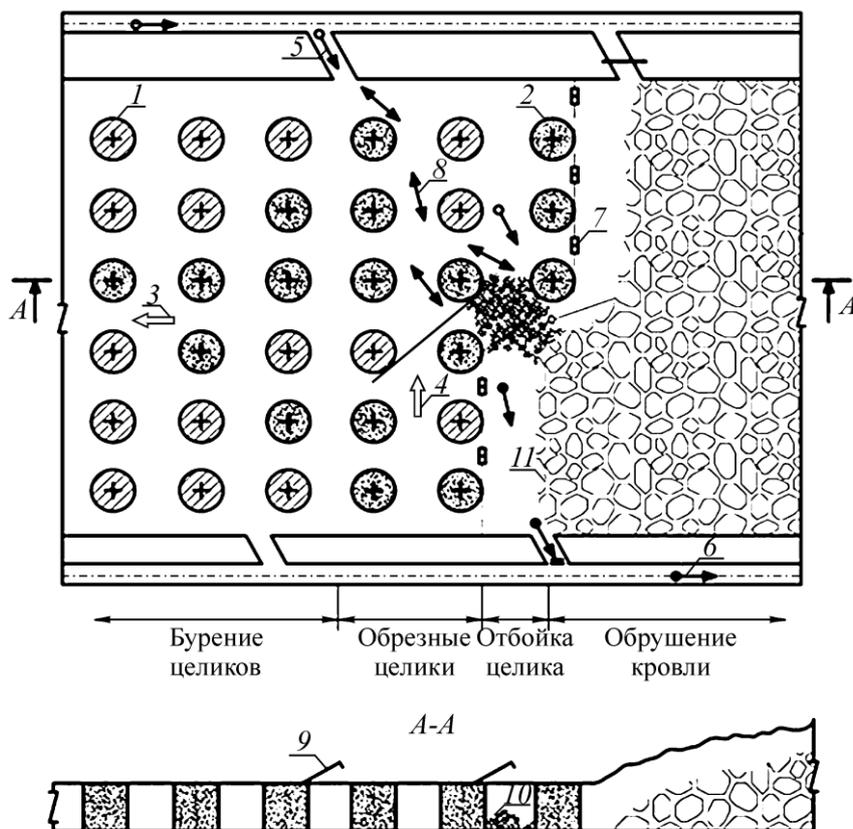


Рис. 1. Схема камерно-столбовой системы отработки Жезказганского месторождения: 1 — междукамерные целики (МКЦ); 2 — обуренные целики; 3 — общее направление отработки МКЦ в панели; 4 — направление отработки МКЦ в ряду; 5 — направление движения свежего воздуха; 6 — направление движения загрязненного воздуха; 7 — знаки, запрещающие заезд оборудования и заход людей в зону неподдерживаемой кровли; 8 — возможный маршрут движения людей и оборудования; 9 — предварительно обуренные скважины для принудительной посадки кровли; 10 — отбитая руда, уложенная направленным взрывом; 11 — обрушенные породы.

С целью проведения постоянного мониторинга за сдвижением земной поверхности территорий поселков Жезказган и Лермонтово заложены металлические реперы по профильным линиям. По ним определяют параметры процесса сдвижения и деформаций горного массива, позволяющие решить вопрос безопасного нахождения людей на подрабатываемой территории. Для расчета параметров выбираются участки с типичными для данного месторождения горно-геологическими условиями, на которых можно проследить развитие и затухание процесса сдвижения и получить исходные данные по деформированию горного массива. Реперы наблюдательных станций закладывают по прямым профильным линиям, ориентированным вдоль существующих автомобильных дорог. Для наблюдений за деформациями земной поверхности при подработке железных дорог и трубопроводов допускают изломы профильных линий, расположение их по диагональным направлениям. Каждая профильная линия состоит из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы закладывают на концах профильных линий вне зоны сдвижения земной поверхности. На каждом конце профильной линии их должно быть не менее двух. Допускается расположение опорных реперов только на одном конце профильной линии, если по условиям рельефа местности или по дру-

гим причинам нельзя закладывать реперы по обоим концам линии. Рабочие реперы закладывают в пределах ожидаемой зоны сдвижения земной поверхности. Число рабочих реперов по профильной линии определяют длиной линии и выбранным интервалом между реперами. Размер интервала принимается равным 15–25 м. При проведении специальных исследований (изучение дискретности процесса сдвижения, сосредоточенных деформаций в районе тектонических нарушений) проводят сгущение реперов на отдельных участках профильных линий. Рекомендуемые конструкции реперов, способы их закладки и порядок разбивки наблюдательной сети осуществляют в соответствии с инструкцией [5–7].

Основными источниками информации о процессах деформирования горных пород и земной поверхности под влиянием разработок являются результаты высокоточного нивелирования (максимальное оседание и скорость оседания). Конструкция реперов и способ их закладки в грунте должны быть обеспечены простотой конструкции репера, удобством измерений в горизонтальной и вертикальной плоскостях, прочной связью репера с грунтом, надежной сохранностью реперов на весь срок службы станции. Для закладки опорного репера (рис. 2), предназначенного для длительной службы, бурится скважина диаметром 160–300 мм, на глубине ниже зоны промерзания грунтов на 0.5 м бетонируют металлический штырь или трубу диаметром 30–50 мм. Цементный раствор заливают только в нижнюю часть скважины на 0.5 м, верхний конец металлического штыря имеет вид полусферы. Пространство между штырем и стенками скважины заполняют песком или шлаком и плотно утрамбовывают. Глубина закладки репера составляет не менее 1.5 м, глубина промерзания грунта 1.4–2.0 м.

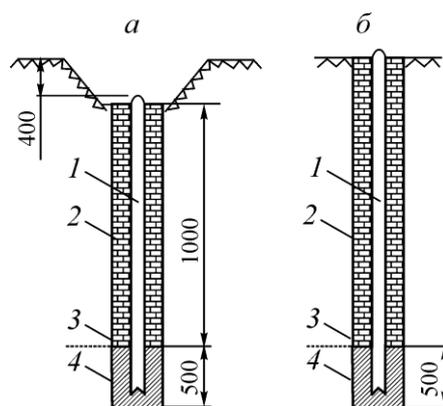


Рис. 2. Конструкции опорных реперов: *а* — заглубленные; *б* — незаглубленные: 1 — металлический штырь; 2 — сухая плотная засыпка; 3 — граница сезонного промерзания; 4 — бетон

По мере развития горных работ ведут систематические наблюдения перемещений реперов в пространстве и во времени относительно исходных или опорных пунктов, располагаемых за пределами возможной области сдвижения. Рабочие реперы наземных наблюдательных станций обычно располагают в створах профильных линий с таким расчетом, чтобы обеспечить получение необходимых данных о границах области сдвижения и основных параметрах процесса сдвижения земной поверхности. В качестве рабочих и вспомогательных реперов можно использовать забивные реперы для короткого срока службы, изготовленные из прутковой или буровой стали длиной 1.5–2.0 м, диаметром 15–20 мм. При закладке реперов всех типов на участках земной поверхности, где существует возможность их механического повреждения, центры реперов должны быть скрытыми, т.е. заглублены с помощью лунок [8].

Высотные сети региональных построений входят в сеть государственного нивелирования I и II классов. Требования к методике нивелирования, нивелирам и рейкам, порядок выполнения отсчетов на станции те же, что при государственном нивелировании соответствующего

класса [5–7]. На обследуемом объекте создана нивелирная сеть специального назначения по ранее заложенным глубинным реперам геометрическим нивелированием I–II класса для наблюдений за вертикальными перемещениями (смещениями).

Традиционная методика инструментальных наблюдений за деформациями и сдвижением земной поверхности обладает высокой точностью, но представляет собой трудоемкий процесс, который занимает много времени. Применение цифрового нивелира Leica DNA03 и штриховых инварных реек позволяет значительно повысить производительность работ, не снижая точности измерений. Цифровой нивелир Leica DNA03 используется для высокоточного нивелирования I–II класса при проведении инструментальных наблюдений за деформациями земной поверхности в процессе повторной отработки. Прибор имеет удобное и понятное меню и снабжен информативным дисплеем с подсветкой, который отображает алгоритм последующих действий. Полученные данные автоматически сохраняются во внутренней памяти прибора. После завершения полевых работ данные по всем измерениям дополнительно переносятся на карту памяти. На нивелире установлено программное обеспечение (ПО) LEICA Survey Office, которое может осуществлять управление обменом данными, создавать кодовые листы и разбивочные высоты в меню. Имеется набор встроенных программ: отсчет по рейке и определение расстояний; отвязка-привязка линий хода; проложение нивелирного хода с набором промежуточных пикетов и выполнением разбивочных работ; автоматическое вычисление высот, которые позволяют снизить вероятность проведения повторных измерений или затратных переделок.

Отсчеты берутся автоматически в сравнении с оптическими нивелирами. Для выполнения измерений в цифровых нивелирах применяются уникальные считывающие электронные устройства. Данные приборы по специальным штриховым инварным рейкам могут определять уровень превышения согласно требуемой точности. Цифровые вычисления исключают ошибки интерпретации и считывания, часто возникающие при использовании оптических приборов. Производство инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности в районах поселков Жезказган и Лермонтово ведется методом геометрического нивелирования по сети профильных линий. База данных по мониторингу накоплена более чем за 20-летний период, информация является полной и позволяет достоверно оценивать ситуацию на месторождении по влиянию подземных горных работ на сдвижение земной поверхности.

Геометрическое нивелирование II класса проложено от сети I класса (триангуляционный пункт “Сай”) с целью получения высотных отметок глубинных грунтовых реперов для сравнения и анализа осадок в последующих циклах наблюдений. Инструментальные наблюдения выполнялись по профильным линиям № 33 бис, 76, 78, 79, 80, 81, 166 и 169 общей протяженностью 4390 м (4.39 км), расположенным по простиранию залежей, над перекрывающимися участками проведенной отработки запасов и ориентированным вдоль основных улиц в центральной и южной частях пос. Жезказган (рис. 3а) и по профильным линиям № 115, 60, 64 и 195 общей протяженностью 2965 м пос. Лермонтово (рис. 3б).

Профильная линия № 115 расположена в зоне застройки пос. Лермонтово вдоль основной его улицы, в северной части поселка пересекает участок железной дороги местного значения и далее проходит над площадным обрушением 1994 г. Профильная линия № 60 трассирована перпендикулярно профильной линии № 115. К моменту проведения начальной серии наблюдений ТОО “КАЗНИМИ” в 1997 г. произошло площадное обрушение пород с выходом на земную поверхность. Вызванный обрушением процесс сдвижения массива налегающих пород и земной поверхности находился в стадии затухания. Значительная часть территории пос. Лермонтово подработана. Под частью поселка и прилегающим к ней участкам ведется повторная разработка запасов по разным залежам. Геомеханическая ситуация здесь достаточно сложная и потенциально опасная.

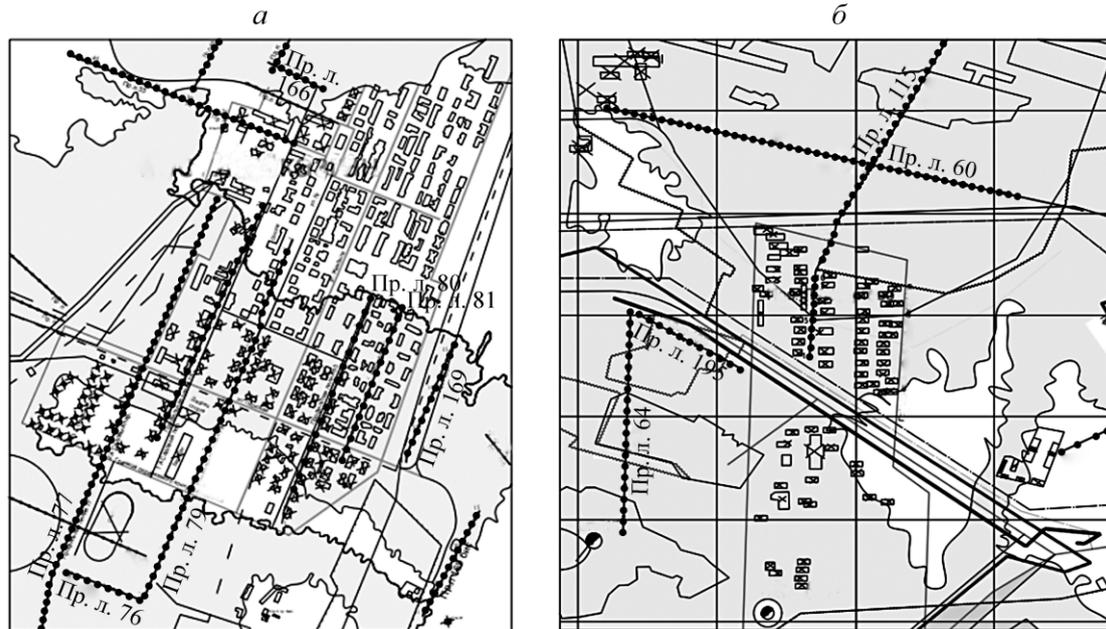


Рис. 3. План пос. Жезказган (а) и план пос. Лермонтово (б) с профильными линиями:  разрушенные здания и сооружения;  жилое здание;  профильные линии;  контур выработанного пространства в шахте

Перед началом работ по измерению осадок сооружений на территории поселков Жезказган и Лермонтово проведена рекогносцировка грунтовых реперов. При обследовании реперов оцениваются их состояние, сохранность, нарушение наружного оформления, прочность цементации марок, влияние инженерно-геологических факторов на устойчивость репера. Реперы считаются неустойчивыми, если обнаружены видимые повреждения и несоответствие конструкции современным требованиям, а также если в месте их закладки отмечаются карстовые явления, оползни и другие процессы, влияющие на изменение положения.

Нивелирование по глубинным и грунтовым реперам проводилось цифровым нивелиром Leica DNA03 и штриховыми рейками с инварной полосой, точность нанесения штрихов составляет менее 0.5 мм. Рейки снабжены круглыми установочными уровнями для приведения в отвесное положение. Ошибки метровых интервалов шкал и всей шкалы инварной рейки при нивелировании II класса допускают до 0.20 мм, при нивелировании в горных районах — до 0.10 мм. При нивелировании использовались специальные башмаки для установки штриховой инварной рейки.

Поверки и исследования нивелира и реек выполнены согласно требованиям инструкции [9]. Нивелирование II класса проводят в прямом и обратном направлении по башмакам. В качестве переходных точек применялись стальные башмаки. При нивелировании II класса максимальное неравенство плеч на станции 0.2 м и максимальное накопление по секциям 0.4 м. Наблюдения на станции выполняют способом “совмещения”. При нивелировании последовательность отсчетов осуществляется по специальной методике. Такая последовательность симметрична во времени и при ее применении наблюдатель также 3 раза изменяет свое положение относительно нивелира. Полученные результаты будут равноточными, так как отсчитывание по рейкам проводится поочередно.

Обработка и уравнивание нивелирования I и II классов выполняется в соответствии с требованиями инструкции [9]. Контролем полевых измерений и вычислений является полученная невязка. Фактическую невязку нивелирного хода вычисляют по формуле

$$f_h = \sum_{i=1}^n h_{\text{cp},i} - (H_{\text{II}} - H_{\text{I}}), \quad (1)$$

где  $\sum_{i=1}^n h_{\text{cp},i}$  — сумма средних превышений в нивелирном ходе;  $H_{\text{II}}$  и  $H_{\text{I}}$  — абсолютные высотные отметки соответственно начального и конечного реперов;  $n$  — количество станций в нивелирном ходе.

Фактическую невязку сравнивают с допустимой, которая рассчитывается следующим образом:

$$f_{h\text{доп.}} = \pm 3 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (2)$$

$L$  — длина нивелирного хода, км.

Фактическая невязка по абсолютной величине не должна превышать допустимую невязку:

$$f_h \geq f_{h\text{доп.}} \quad (3)$$

При выполнении данного условия измерения, полученные при прокладке нивелирного хода, считают качественными и пригодными для дальнейшей обработки, в противном случае измерения повторяют.

Для уравнивания превышений значения фактической невязки  $f_h$  распределяют с противоположным знаком поровну на все станции, т. е. рассчитывают поправку  $v_h$  в каждое превышение:

$$v_h = -\frac{f_h}{n} \quad (4)$$

Поправки вычисляют с точностью до 1 мм, их значения записывают со своими знаками над соответствующими им превышениями. Сумма всех поправок должна быть равна невязке  $f_h$  с обратным знаком. Результаты уравнивания технических характеристик нивелирных ходов по сериям наблюдений приведены в таблице.

ТАБЛИЦА. Технические характеристики нивелирных ходов по 1-й и 2-й серии наблюдений за реперами профильных линий

Номер хода	Направление хода	Количество станций	Невязка, мм	
			полученная	допустимая
1	77-20, 76-10, 79-36, 78-7	4	2.15 / -2.7	4.2 / 4.2
2	80-10, 81-8	2	0.1 / 0	3.2 / 3.2
3	169-18	1	0.7 / 2.0	2.0 / 2.0
4	166-13	2	0.7 / -1.9	2.0 / 2.0
5	64-30, 195-10	2	1.3 / 1.0	2.0 / 2.0
6	115-20, 60-43	2	3.0 / 3.0	3.2 / 3.3

Примечание. Через косую линию приведены данные для 1-й и 2-й серии наблюдений

Полученные невязки полигонов не превышают допустимых значений. Их значения колеблются в пределах от -1.2 мм до 4.0 мм. При повторном геометрическом нивелировании I–II класса по глубинным реперам превышения между реперами, вычисленные по формуле (1), меньше допустимого значения. Высотные отметки глубинных реперов остаются неизменными.

Проложенные ходы геометрического нивелирования на данном объекте соответствуют I и II классу точности. Оседания реперов по профильным линиям пос. Жезказган находятся в пределах точности, за исключением профильных линий № 76, 77, 78 и 79, на которых зафиксированы небольшие оседания до 2–5 мм. По результатам инструментальных наблюдений, выполненных по профильным линиям пос. Лермонтово, выявлено оседание реперов по профильной линии № 115, которое колеблется в пределах 10–50 мм.

В сложных геомеханических условиях обработки Жезказганского месторождения, кроме высокоточных инструментальных наблюдений, используются и другие способы мониторинга с помощью сейсмического контроля, радарной интерферометрии, глобальной спутниковой навигации (GPS) [10–12], прогнозных методов расчета оседания земной поверхности [13].

#### ВЫВОДЫ

Разработана методика высокоточных инструментальных измерений за деформациями земной поверхности путем проведения геометрического нивелирования I и II класса с использованием цифрового нивелира Leica DNA03 и штриховых инварных реек. Анализ результатов наблюдений по созданному геодинамическому полигону показывает, что смещения реперов по профильным линиям в пос. Жезказган составляют 2–5 мм, т. е. геомеханическая ситуация спокойная. Смещения реперов по высоте в пос. Лермонтово составили 10–50 мм, что оценивает геомеханическую ситуацию горного массива как достаточно сложную и потенциально опасную. Рекомендовано продолжить инструментальные наблюдения за реперами по профильным линиям для контроля и прогноза состояния устойчивости земной поверхности на подработанной территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Концепция** по планомерному погашению пустот. — Жезказган: Корпорация “Казахмыс”, 2007.
2. **Зайцев О. Н., Макаров А. Б., Юн А. Б.** Геомеханическое обоснование технологии повторной разработки междукамерных целиков из открытого выработанного пространства с обрушением налегающей толщи // Маркшейдерский вестн. — 1999. — № 4. — С. 17–23.
3. **Инструкция** об охране геодезических пунктов. — М., 1984.
4. **Орлов Г. В.** Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки. — М.: Горная книга, 2010. — 198 с.
5. **Аханов Т. М., Прокушев Г. А.** Современное состояние разработки и проблемы развития технологии на этапе доработки Жезказганского месторождения // ГИАБ. — 2012. — № 11 — С. 5–12.
6. **Инструкция** по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке Жезказганского месторождения. — Жезказган, 2011.
7. **Центры** и реперы Государственной геодезической и нивелирной сетей Республики Казахстан ГКИНП (ГНТА)-19-024-09. — Астана, 2009. — 46 с.
8. **Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Долгоносов В. Н., Радей К., Станькова Г.** Мониторинг состояния откосов уступов и бортов карьеров / НИИ геодезии, топографии и картографии. Чешская Республика, Здибы, 2015. — 350 с.
9. **Инструкция** по нивелированию I, II, III и IV классов. — М., 2004.
10. **Нурпеисова М. Б., Милетенко И. В.** Геомеханика. — Алматы: КазНТУ, 2014. — 275 с.
11. **Игемберлина М. Б., Естаева А., Низаметдинов Р. Ф., Сатбергенова А. К.** Применение современных технологий при проведении геодезического мониторинга сдвижений земной поверхности. — Алматы.: Горн. журн. Казахстана, 2020. — № 3. — С. 19–24.
12. **Бесимбаева О. Г., Уставич Г. А., Олейникова Е. А.** Мониторинг деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях // Науки о Земле. — 2017. — № 4. — С. 190–203.
13. **Кожоголов К. Ч., Таханов Д. К., Кожас А. К., Имашев А. Ж., Балпанова М. Ж.** Разработка прогнозных методов расчета оседаний земной поверхности над горными работами // ФТПРПИ. — 2020. — № 2. — С. 31–42.

*Поступила в редакцию 15/ХП 2020*

*После доработки 03/П 2021*

*Принята к публикации 15/П 2021*