

## **МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

### ***Ольга Газисовна Бесимбаева***

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, пр. Нурсултана Назарбаева, 56/2, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

### ***Георгий Афанасьевич Уставич***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: ystavich@mail.ru

### ***Елена Алексеевна Олейникова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы деформационного мониторинга земной поверхности на подрабатываемой территории, обусловленные шахтной подработкой. Для выполнения наблюдений и анализа полученных результатов были выбраны Карагандинский и Шерубайнуринский районы, на которых были заложены наблюдательные станции. С целью выявления изменения величины сдвижения с течением времени на девяти участках Карагандинского угольного бассейна в течение четырех лет проводились систематические инструментальные наблюдения за подрабатываемыми участками земной поверхности. В ходе выполнения анализа полученных результатов измерений, производились вычисления сдвижений и деформаций дневной поверхности, в итоге была найдена прямая зависимость интенсивности оседания земной поверхности от мощности вынимаемого пласта, системы отработки выемочного участка, глубины подработки горного массива. Рассмотрен процесс формирования и развития мульды сдвижений в динамике. Для исследования деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях проводился спутниковый мониторинг.

**Ключевые слова:** сдвижение и деформации земной поверхности, мульда сдвижения, график оседаний, инструментальные наблюдения, динамика, спутниковый мониторинг, снимок, подработанная территория.

## **MONITORING OF DEFORMATIONS OF THE LAND SURFACE IN THE EARNEST ADDITIONALLY TERRITORIES**

### ***Olga G. Besimbayeva***

Karaganda State Technical University, 56/2, Prospect Nursultan Nazarbayev St., Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Ph. D., Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

### ***Georgy A. Ustavitch***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: ystavich@mail.ru

*Elena A. Oleynikova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

In article issues of monitoring of a condition of the land surface in the earned additionally territory at the expense of a mine side work are considered. The Karaganda and Sherubaynurinsky districts were chosen for observations. In the chosen territory observing stations are put, on nine sites of the Karaganda coal basin within four years' systematic tool observations of the earned additionally sites of the land surface for the purpose of identification of change of size of displacement were made eventually. Analyzing results of measurements, calculations of displacement and deformations of a surface where the direct dependence of intensity of subsidence of the land surface was found were made. Process of formation and development of a trough of displacement in dynamics is considered. For a research of deformation of the land surface on earned additionally territories carried out also satellite monitoring.

**Key words:** displacement and deformations of the land surface, displacement trough, schedule of subsidence, tool observations, dynamics, satellite monitoring, picture, earned additionally territory.

### ***Введение***

Наиболее важным по интенсивности проявления и опасности в пределах территории Карагандинской области являются процессы оседания земной поверхности за счет шахтной подработки и, частично, за счет осушения водоносных комплексов при шахтном водоотливе, а также подтопление г. Караганды, формирующиеся под действием комплекса природных и техногенных факторов [1].

Проведение горных выработок влечет за собой изменение напряженного состояния массива горных пород, вызывает деформации и перемещения их в сторону выработанного пространства, что обуславливает возникновение и развитие процесса сдвижения. Захватывающие толщу горных пород, а также и земную поверхность сдвижения и деформации могут оказаться опасными для расположенных на поверхности сооружений, природных и хозяйственных объектов, в том числе и проведенных в толще пород горных выработок.

### ***Выбор района исследования***

При выборе районов наблюдения за оседанием поверхности руководствовались однородностью геологического строения толщи пород, залегающих выше каменноугольных отложений. На этом основании для выполнения наблюдений были выбраны два района – Карагандинский и Шерубайнуринский [1, 2].

Таким образом, выделились два принципиально различных по условиям осадконакопления района, в которых возможна разнообразная активность проявления процесса. При выборе опорных участков основное внимание уделялось горно-геологическим условиям подработки.

Карагандинские шахты вскрыты вертикальными клетьевыми, скиповыми и вентиляционными стволами, а также капитальными квершлагами, применяется столбовая система разработки выемочных блоков по падению или по простиранию пласта. Особенностью Карагандинского угольного бассейна является наличие свиты пластов, т. е. одни и те же участки земной поверхности могут быть многократно подработаны.

При исследовании технологических особенностей на шахтах Карагандинского угольного бассейна была выявлена идентичность систем разработки, технологии и механизации ведения горных работ [2].

### *Методика проведения мониторинга*

На основании анализа всех условий залегания и отработки выемочных блоков выделены 9 участков (постов) на территории бассейна, которые находятся в зоне подработки. На выделенных девяти постах была создана система наблюдательных станций, заложенных с целью получения основных параметров сдвижения земной поверхности при многократной ее подработке, с таким условием, чтобы период наблюдений был не менее трех лет [3].

Каждая профильная линия включает в себя систему опорных и рабочих реперов. Опорные репера закладывались на концах профильных линий вне зоны возможного влияния подземной подработки. На каждом конце профильной линии закладывалось не менее двух опорных реперов.

При закладке наблюдательной станции кроме опорных и рабочих реперов было выбрано три исходных репера, от которых проверяли неподвижность опорных реперов по высоте. С этой целью использовали существующие пункты маркшейдерской опорной сети, расположенные вне зоны сдвижения земной поверхности [4]. Для определения координат реперов и скважин для трех постов Шерубайнуринского каменноугольного района были использованы координаты пунктов триангуляции государственной геодезической сети, которые представлены на рисунке 1. Наблюдательные станции были заложены в виде «конверта». Рабочие репера были заложены через 200 метров между опорными реперами. Всего на 9 постах было установлено 195 реперов. Во избежание вертикальных смещений репера за счет деформаций грунта, вызываемых сезонным изменением его влажности, была проведена их закладка на глубину более 1,8 м, т. е. ниже глубины промерзания грунтов [5, 6].

Наружное оформление репера состоит из опознавательного знака в виде асбоцементной трубы, залитой цементным раствором и установленной в 1 м от репера. Черной краской на столбах подписаны номера реперов [7].

Разбивка наблюдательной станции проводилась инструментально от пунктов геодезической сети; схема разбивки опорных реперов наблюдательных станций представлена на рис. 1. При этом была выполнена корректировка проекта станции, а также определялись окончательные места расположения профильных линий и закладки реперов с учетом особенностей рельефа местности, инфраструктуры, характера использования земельных угодий и других условий.

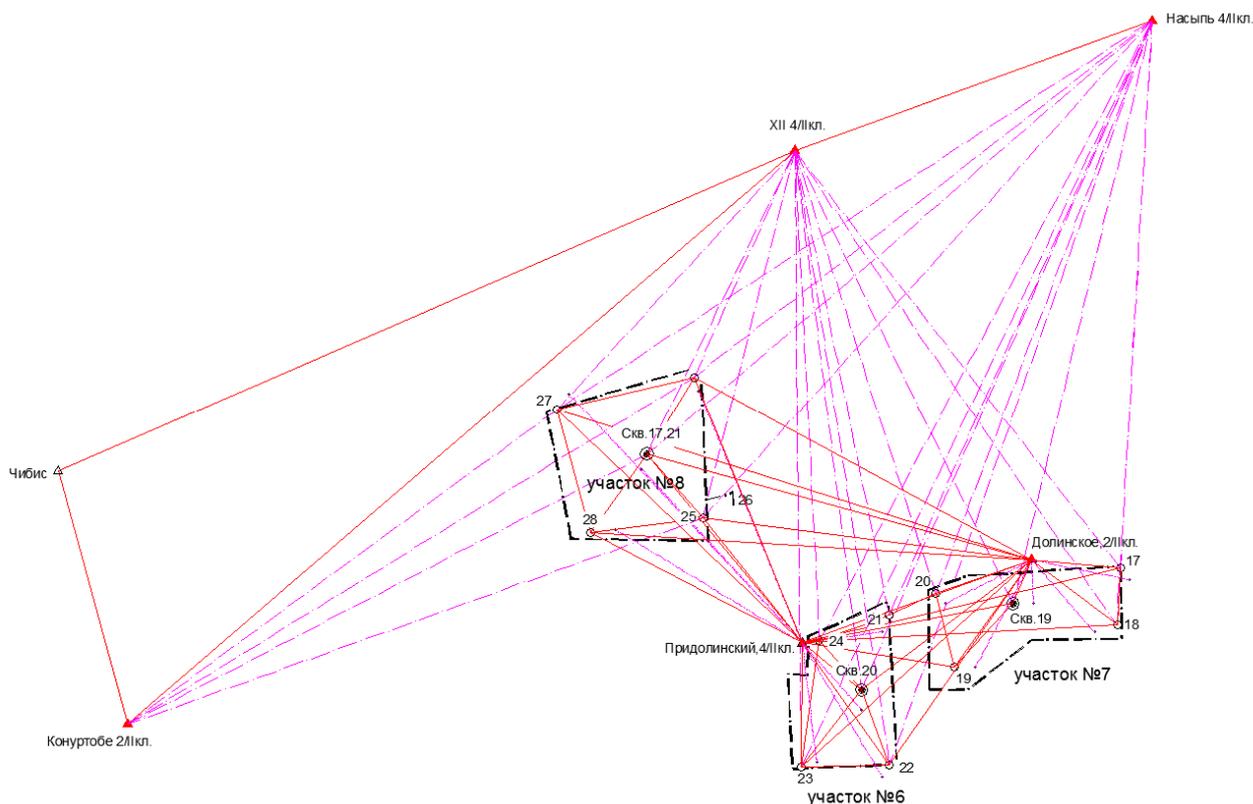


Рис. 1. Схема разбивки базовой сети на участках № 6, № 7 и № 8

Наблюдения на поверхностных наблюдательных станциях состоят из привязки опорных (грунтовых) реперов станции к существующей маркшейдерско-геодезической сети, первичных наблюдений на реперах станции в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также в повторных систематических наблюдениях [8].

Полная серия инструментальных наблюдений включает:

- нивелирование всех реперов;
- измерение расстояний между реперами вдоль профильных линий;
- съемку трещин, образовавшихся на поверхности;
- замеры деформаций находящихся объектов.

Первое наблюдение на станции проводилось через 10 суток после закладки реперов.

Привязка опорных реперов профильных линий к пунктам опорной геодезической сети и определение их координат ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) выполнялись с помощью электронного тахеометра.

Для повышения точности и исключения грубых ошибок все измерения электронным тахеометром выполнялись при двух положениях вертикального круга 6 приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором производится несколько измерений (2–3). За окончательный результат принимается среднее значение, при этом разница между отдельными

отсчетами не должна превышать  $\pm 2,0$  мм. С помощью электронного тахеометра могут быть определены все необходимые данные: координаты реперов наблюдательных станций, которые позволяют определить расстояния между реперами и суммарную длину интервалов. Высотные отметки реперов профильных линий определялись нивелированием III класса. На рис. 2 и 3 представлены наблюдательные станции, закрепленные в виде «конверта» на участках № 6 и № 7. Участок № 6 расположен на восточной окраине пос. Долинка, участок № 7 расположен на север от центрального ствола шх. Абайская в пределах шахтного поля Шерубайнуринского района [9, 10].

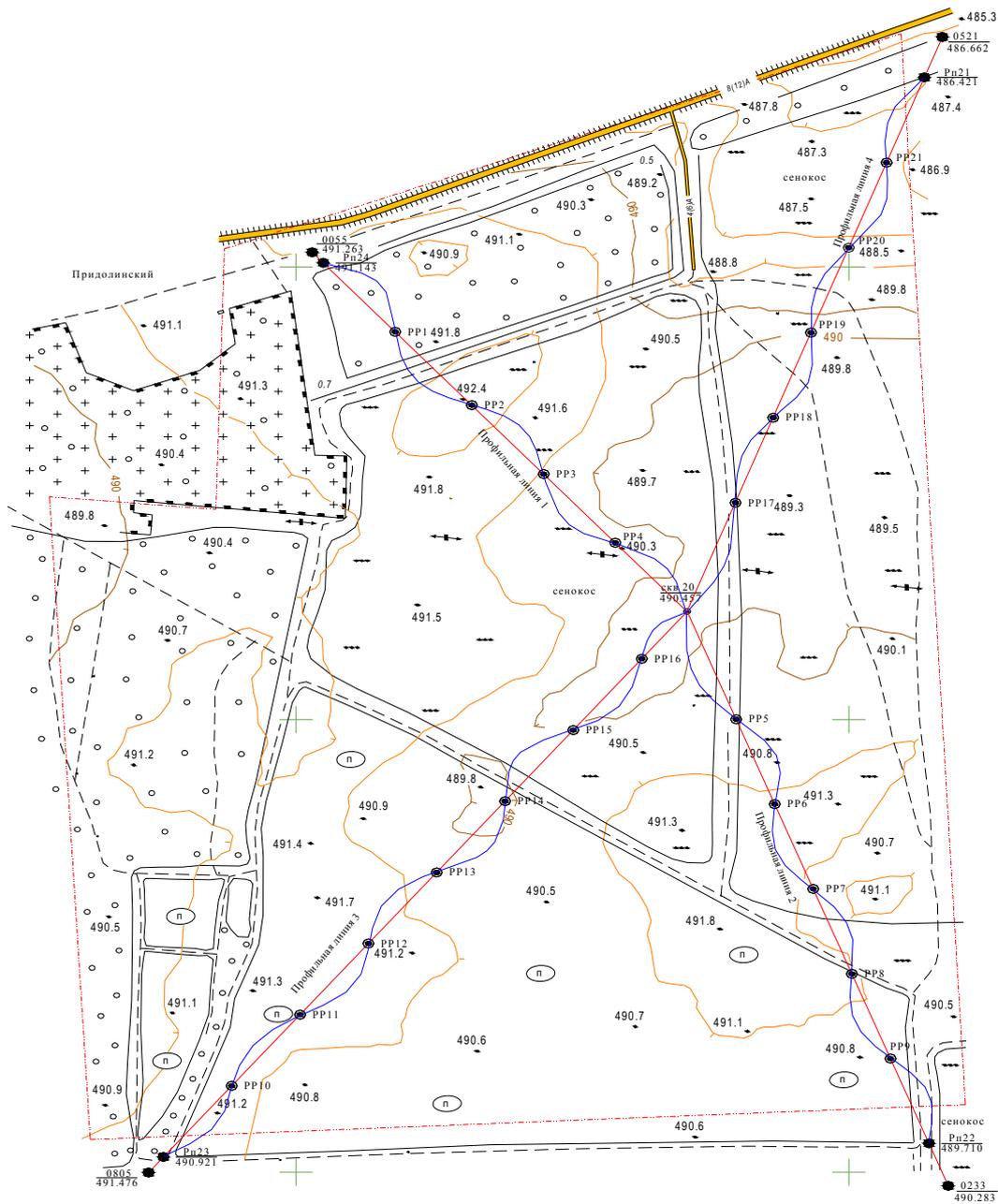


Рис. 2. Схема ходов нивелирования III класса по реперам участка № 6

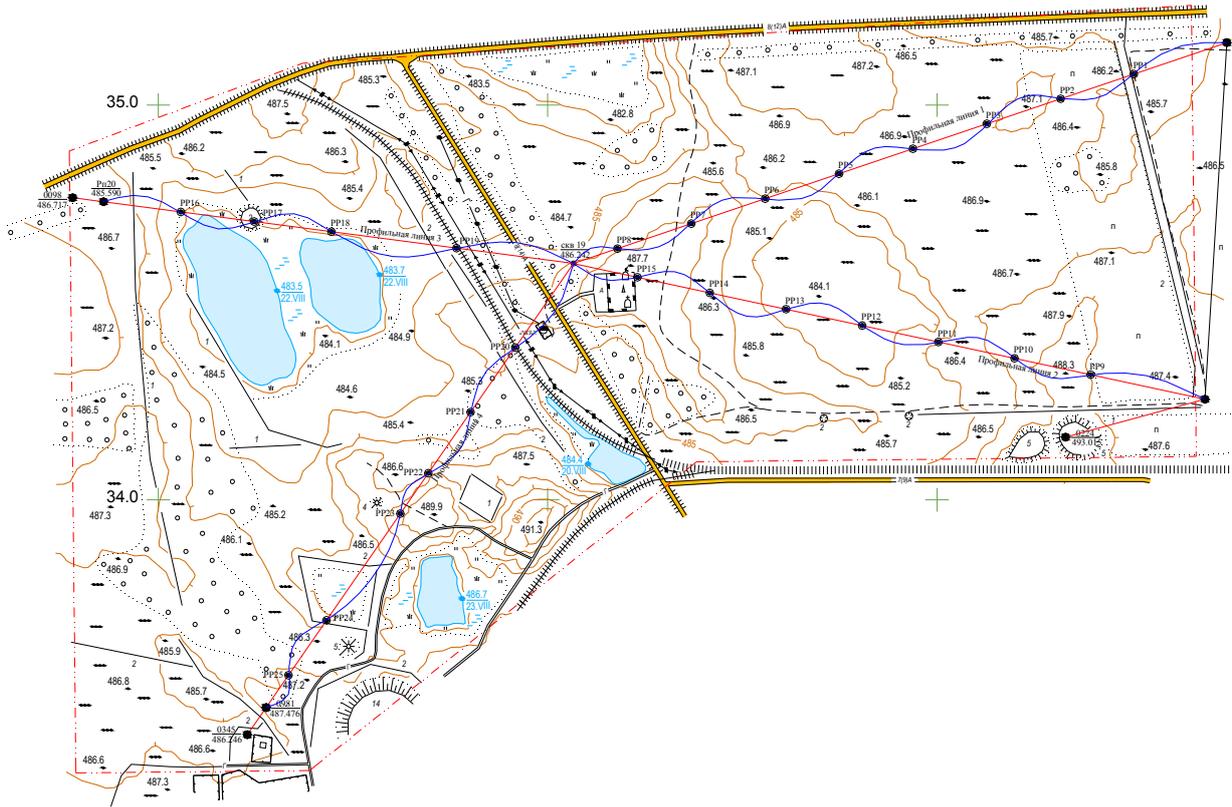


Рис. 3. Схема ходов нивелирования III класса по реперам участка № 7

Камеральная обработка результатов наблюдений производилась непосредственно по окончании каждой серии измерений и заключалась в следующем [6]: проверка полевых журналов; вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции; вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий; определение расстояний от опорного репера до каждого из реперов профильной линии станции; составление по каждой профильной линии ведомостей (вертикальных смещений реперов; горизонтальных смещений реперов вдоль профильных линий; горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий); составление графических материалов.

Отметки реперов после обработки каждой серии наблюдений заносятся в ведомости вертикальных смещений [11].

После контрольных проверок полевых измерений производились вычисления сдвижений и деформаций поверхности и построение их графиков согласно требованиям «Инструкции по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности ...» [1, 12, 13].

По разности координат реперов  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  относительно их исходного положения можно определить направление в пространстве вектора смещения в цифровом виде, а также по разности горизонтальных проложений  $\Delta S$  между реперами относительно исходных значений можно судить о сдвижении (сжатии или растяжении) участка земной поверхности.

На девяти участках Карагандинского угольного бассейна в течение четырех лет проводились систематические инструментальные наблюдения за подрабатываемыми участками земной поверхности с целью выявления изменения величины сдвижения с течением времени [14].

Периоды инструментальных наблюдений на созданных ОПГ:

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1-й цикл – ноябрь 2011 г.;  | 5-й цикл – август 2013 г.; |
| 2-й цикл – май 2012 г.;     | 6-й цикл – март 2014 г.;   |
| 3-й цикл – декабрь 2012 г.; | 7-й цикл – октябрь 2014 г. |
| 4-й цикл – февраль 2013 г.; |                            |

Наблюдения первых 4-х циклов показали равномерное оседание земной поверхности по мере увеличения площади выработанного пространства.

Максимальная величина оседания рабочих реперов в основном зафиксирована в период 4-го – 6-го циклов наблюдений на участках № 1, 6, 7, 8 [15, 16].

### *Анализ результатов*

По состоянию на октябрь 2014 г. максимальные оседания рабочих реперов по девяти участкам ОПГ по сравнению с 1-м циклом достигло следующих величин:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| участок № 1 – 0,238 м; | участок № 6 – 0,431 м; |
| участок № 2 – 0,124 м; | участок № 7 – 0,440 м; |
| участок № 3 – 0,093 м; | участок № 8 – 0,344 м; |
| участок № 4 – 0,223 м; | участок № 9 – 0,068 м. |
| участок № 5 – 0,220 м; |                        |

Наибольшие смещения реперов и скважин в плане между первым и седьмым циклами выявились на участках № 6 и № 7. Так оседание реперов достигли 431 мм на РР22 участка № 6 и 440 мм на РР18 участка № 7. На рис. 4 и 5 показаны графики оседания реперов с максимальной величиной за весь период наблюдений.

В результате анализа графиков оседаний по всем реперам профильных линий было установлено, что после достижения максимальной величины оседания происходит стабилизация процесса сдвижения земной поверхности, обусловленная полной отработкой очистной лавы и заполнением выработанного пространства обрушенными горными породами кровли [17, 18].

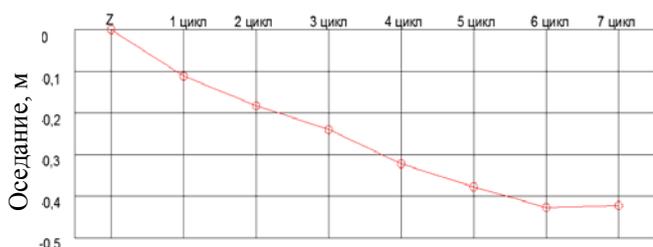


Рис. 4. График оседания репера РР22 участка № 6

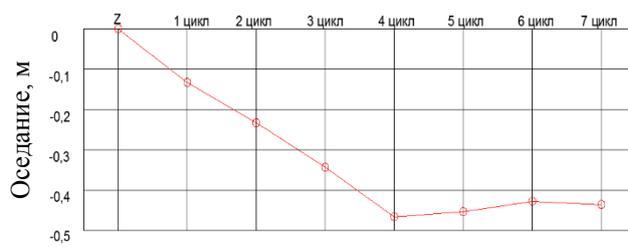


Рис. 5. График оседания репера РР18 участка № 7

Также на основании анализа полученных результатов семи циклов мониторинга на девяти участках Карагандинского угольного бассейна можно сделать выводы о том, что интенсивность оседания земной поверхности напрямую зависит от [19]:

- показателей крепости, плотности горных пород;
- сопротивления на сжатие и растяжение вмещающих пород горного массива;
- глубины подработки горного массива;
- мощности вынимаемого пласта или породного массива;
- системы отработки выемочного участка;
- типа крепления выработанного пространства [8].

Чем выше показатели крепости вмещающих пород горного массива, тем медленнее происходит процесс оседания земной поверхности.

При подработке горного массива на значительной глубине процесс оседания земной поверхности проходит медленно. Есть понятие о безопасной глубине разработки, которая превосходит сумму высот зон обрушения и оседания.

При очистных работах с вынимаемой мощностью пласта 3,5–4,0 м, выработкой на погашение, процесс оседания земной поверхности проходит интенсивно. При очистных работах с вынимаемой мощностью пласта 2,2–3,2 м, процесс оседания земной поверхности проходит медленнее [20].

### ***Спутниковый мониторинг***

Для исследования деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях Карагандинского угольного бассейна в 2014 году ТОО «KazGeoScan» проводил спутниковый мониторинг.

Для реализации проекта ТОО «KazGeoScan» был приобретен программный комплекс ENVI для расчета оседаний земной поверхности. Выбраны радарные космические снимки итальянского спутника COSMO Sky Med. Полученные космические снимки обрабатывались программным комплексом ENVI, который, подсчитав значения оседаний, построил графики оседаний участков по пяти циклам наблюдений (рис. 6, 7).

В результате проведенных инструментальных геодезических измерений на исследуемых постах наблюдательных станций и камеральной обработки полевого материала становятся доступны данные о современном состоянии земной поверхности.

Анализ результатов наблюдений за рассматриваемый период показал, что происходит систематическое сдвигание и оседание земной поверхности на участках подработки. Отработка выемочных столбов производилась по бесцеликовой схеме с полным обрушением кровли в очистных забоях. Отрабатываемые лавы попадали в зоны сдвижения горных массивов от подработанных вышележащих горизонтов, что непосредственно повлияло на интенсивность оседания земной поверхности.

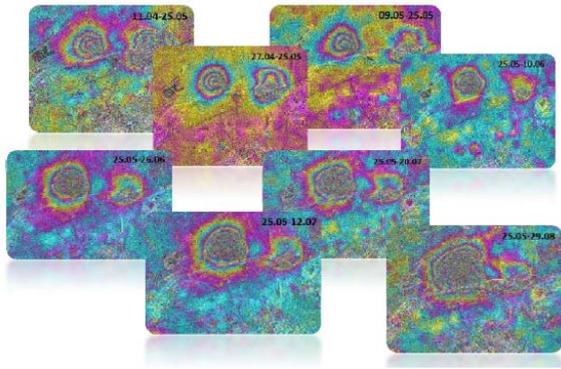


Рис. 6. Космические снимки участка № 6

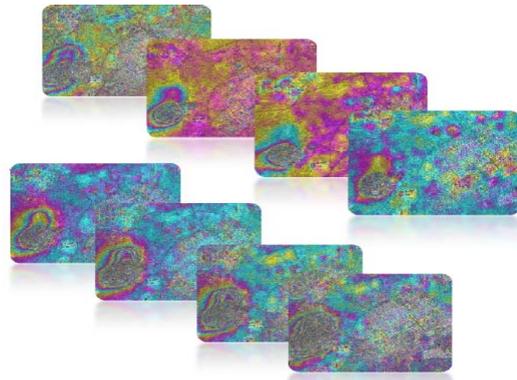


Рис. 7. Космические снимки участка № 7

Использование методики спутникового мониторинга сдвижения подработанной земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна можно считать целесообразным, так как после обработки материала можно судить о степени сходимости результатов современного состояния земной поверхности с проведенными инструментальными геодезическими измерениями [11].

### **Выводы**

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. По результатам инструментальных наблюдений за сдвигами и деформациями земной поверхности на подрабатываемой территории Карагандинского угольного бассейна рассмотрен процесс формирования и развития мульды сдвижений в динамике [12].

2. Выявлены закономерности максимальных скоростей вертикальных (оседаний) и горизонтальных сдвижений в зависимости от многих факторов, таких как мощность вынимаемого пласта, система отработки выемочного участка, глубина подработки горного массива.

3. Полученные результаты динамики оседания земной поверхности на участках Карагандинского угольного бассейна необходимы при разработке мер защиты объектов и сооружений на подрабатываемых территориях.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М. : Недра, 1989.

2. Мониторинг состояния земной поверхности на подрабатываемых территориях / Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Олейникова Е. А., Ефимова В. В., Бесимбаев Н. Г. // Тенденции развития науки и образования. – 2016. – № 11-1. – С. 11–14.

3. Проект «Создание и ведение наблюдений на 9 постах по изучению ОГП в Карагандинской области» / Центрально-Казахстанское территориальное Управление геологии и недропользования ТОО «Центрмониторинг». – Караганда, 2007.

4. Пояснительная записка о ведении наблюдений по изучению ОГП в Карагандинской области на участках №6, № 7. I цикл наблюдений. РГКП «Центрмаркшейдерия», Караганда 2012 г.
5. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и Рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. – Астана, 2008.
6. Технический отчет о топографической съемке М 1 : 10 000 участков 1,4,5 Карагандинского района. – Караганда, 2008.
7. Свирко С. В. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности // Вестник КузГТУ. – 2016. – № 3. – С. 51–62.
8. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin «The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass» // «Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences», 2017, Volume 15, 01002.
9. Мустафин М. Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта // Сб. горного информ.-аналит. бюл. – М. : Изд-во МГГУ, 2008, № 1. – С. 17–22.
10. Медянцева А. Н., Черняев В. И. Сдвигение и деформации горных пород в подрабатываемой толще // Уголь Украины. – 1961. – № 11. – С. 25–27.
11. Свирко С. В., Быкадоров А., Ренев А. А. Закономерности сдвижения отдельных точек подрабатываемой поверхности в условиях Кузбасса // Геомеханика в горном деле : доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2–4 декабря 2015 г. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2015.
12. Ягунов А. С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / Минэнерго РФ, НИИ горн.геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Сибирский филиал. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2010. – 239 с.
13. Мониторинг деформаций земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна / Мозер Д. В., Левин Е. Л., Гей Н. И., Каранеева А. Д., Нагибин А. А. // Геодезия и картография. – 2015. – № 3. – С. 21–26.
14. Посыльный Ю. В., Фарафонова К. В., Мамонов А. А. Приведение оседаний земной поверхности по произвольному направлению к главному сечению мульды сдвижения // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 1. – С. 103–105.
15. Методы анализа дискретности процесса сдвижения земной поверхности при разработке угольных пластов / Быкадоров А. И., Ларичкин П. М., Свирко С. В., Ренев А. А. // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 6. – С. 19–24.
16. Усанов С. В., Усанова А. В. Сдвигение земной поверхности при затоплении железорудной шахты // Проблемы недропользования. – 2015. – № 1. – С. 55–64.
17. Грищенко Е. Н., Мустафин М. Г. Пространственная визуализация процесса сдвижения с помощью инструментальных средств 3DS MAX // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 9. – С. 36–41.
18. Свирко С. В. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 3. – С. 51–62.
19. Свирко С. В., Ренев А. А. Аналитические представления взаимосвязи вертикальных и горизонтальных сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности по простиранию // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. – 2016. – № 5. – С. 7–15.
20. Современное маркшейдерско-геодезическое обеспечение эксплуатации горных предприятий / Мустафин М. Г., Грищенко Е. Н., Юнее Ж. А., Худяков Г. И. // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2017. – № 4. – С. 190–203.

© О. Г. Бесимбаева, Г. А. Уставич, Е. А. Олейникова, 2019