

**Ф. Н. Низаметдинов** (КарГТУ, Казахстан)

В 1977 г. окончил Карагандинский политехнический институт по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время — заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геодезии (МДиГ) Карагандинского государственного технического университета (КарГТУ). Доктор технических наук, профессор, академик КазНАЕН.

**Д. В. Мозер** (КарГТУ, Казахстан)

В 2001 г. окончил Карагандинский государственный технический университет по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время — старший преподаватель кафедры МДиГ КарГТУ. Кандидат технических наук.

**Н. И. Гей** (КарГТУ, Казахстан)

В 2013 г. окончила Карагандинский государственный технический университет по специальности «геодезия и картография». В настоящее время — магистрант КарГТУ, научный сотрудник ТОО «НТЦ «KazGeoScan».

**А. С. Туякбай** (КарГТУ, Казахстан)

В 2008 г. окончила Карагандинский государственный технический университет по специальности «горное дело». В настоящее время — старший преподаватель кафедры МДиГ КарГТУ, научный сотрудник ТОО «НТЦ «KazGeoScan». Магистр технических наук.

**А. Д. Каранеева** (КарГТУ, Казахстан)

В 2006 г. окончила Карагандинский государственный университет по специальности «физика». В настоящее время — магистрант КарГТУ, научный сотрудник ТОО «НТЦ «KazGeoScan».

## Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна

Карагандинский угольный бассейн — крупнейший угольный бассейн Республики Казахстан. Основные центры добычи — города Караганда, Сарань, Абай, Шахтинск. Шахты находятся на близком расстоянии друг от друга и от города Караганды, а интенсивная подземная добыча полезных ископаемых приводит к оседаниям земной поверхности и обрушениям. При этом для восстановления требуются большие средства на ремонт оборудования, техники и ликвидацию последствий аварий.

Выявление процесса смещения земной поверхности и предотвращение угрозы обрушения возможны при проведении масштабного мониторинга. В последние годы наиболее актуальными и эффективными являются методики с использованием

дистанционного зондирования Земли с применением спутниковой радарной интерферометрии.

Для мониторинга смещений земной поверхности на подработанных территориях Карагандинского угольного бассейна в КарГТУ начаты работы по использованию технологии спутниковой радарной интерферометрии на основе съемок со спутников COSMO-SkyMed-1-4, приобретенных по специальной стоимости для вузов в российской компании «Совзонд» [1].

Обработка данных производилась по технологии SBAs в программном комплексе ENVI (модуль SarScape Interferometric Stacking), эксклюзивным дистрибьютором которого в России и СНГ является компания «Совзонд».

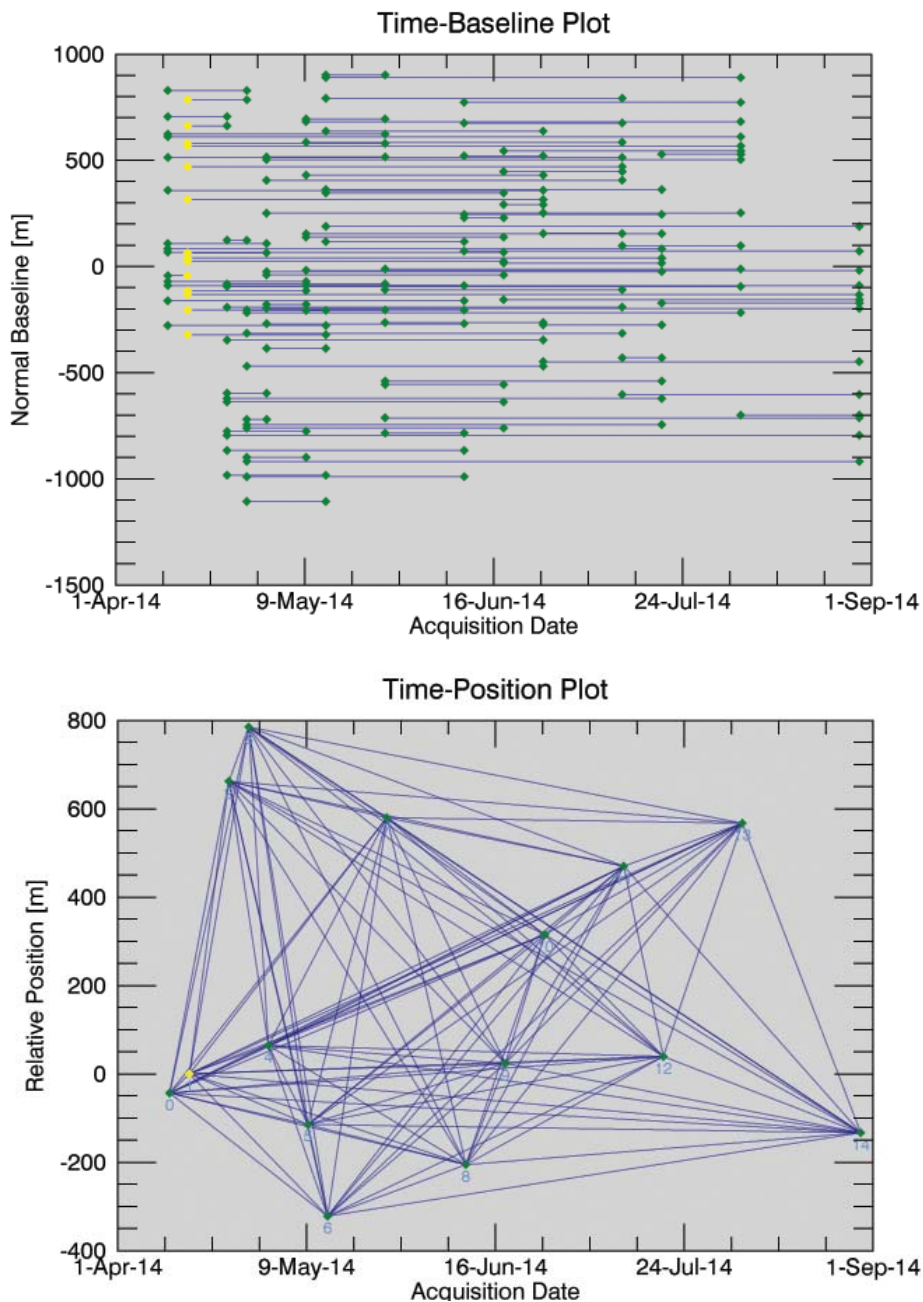


Рис. 1. а) Определение базовых линий снимков относительно друг друга;  
б) определение пространственного положения снимков относительно друг друга

Применяемая технология обработки SBas — интерферометрия малых базовых линий — предусматривает попарную интерферометрическую обработку большого количества перекрещивающихся во времени интерферометрических пар. Перед началом проекта специалисты КарГТУ прошли обучение технологии радарной интерферометрии SBas в Информационно-консультационном центре компании «Совзонд».

Первый шаг обработки в SARscape — выбор пар из общего числа возможных пар

по некоторым критериям: максимально допустимой базовой линии, максимально допустимого временного промежутка между съемками. 15 повторных съемок — это 105 возможных пар снимков. Инструмент Connection Graph позволяет в интерактивном автоматизированном режиме выбрать пары для дальнейшей обработки с учетом вышеуказанных критериев (рис. 1) [2].

Для каждой из пар в автоматизированном режиме были построены интерферограммы и дифференциальные интерферограммы,

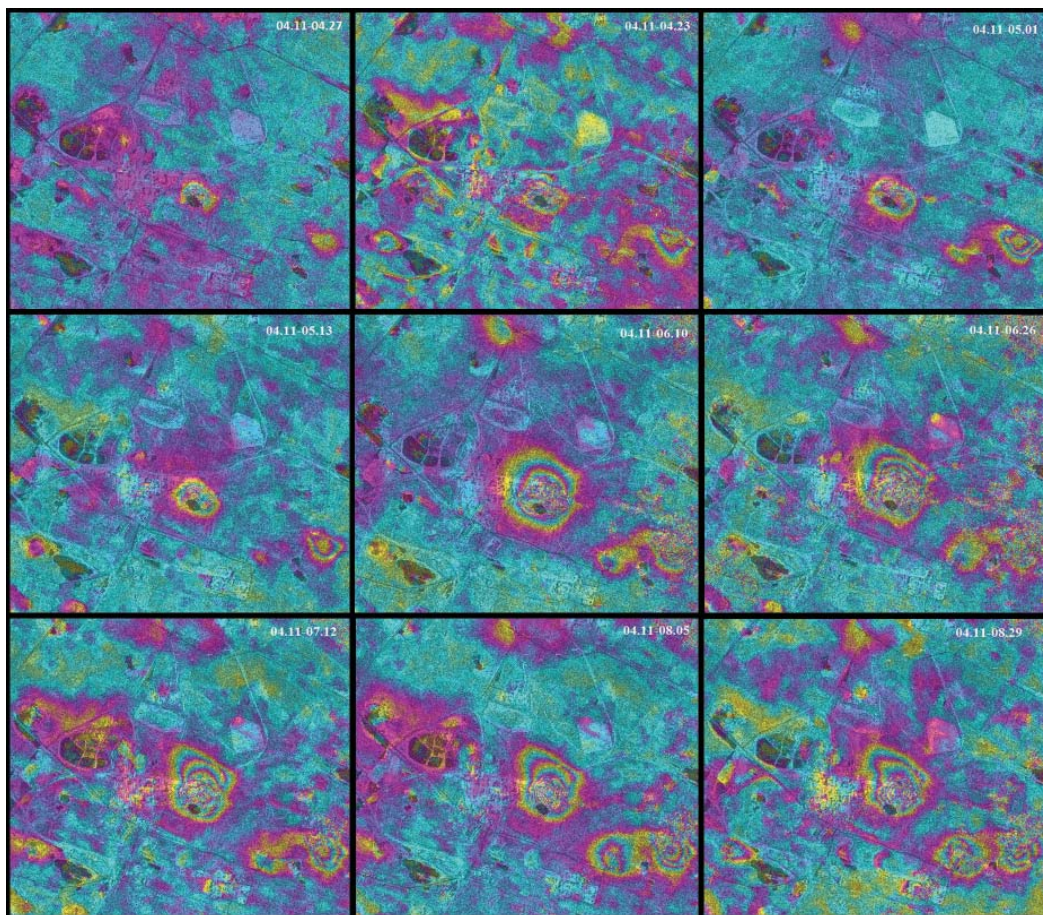


Рис. 2. Дифференциальная интерферограмма в районе шахты им. И. А. Ностенно

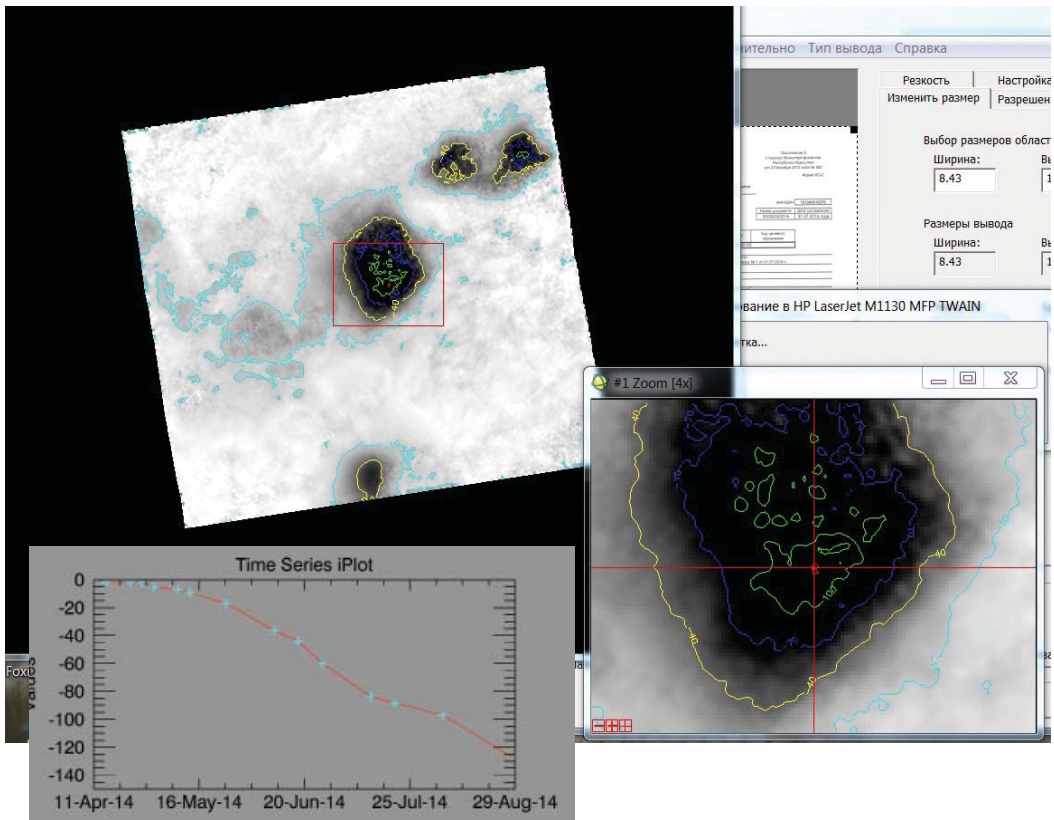


Рис. 3. Максимальная величина оседания земной поверхности в районе ведения работ на шахте им. И. А. Костенко за все время наблюдения

выполнены фильтрация интерферометрической фазы, расчет когерентности и развертка фазы. На выходе была получена интерферограмма смещений земной поверхности на всю площадь космического снимка [3].

После анализа дифференциальной интерферограммы были выявлены участки, на которых образовались мульды оседаний, для дальнейшего наблюдения за данной территорией. Данные мульды оседаний поверхности расположены в районах добычи угля в шахтах им. И. А. Костенко, им. Т. Кузембаева, «Абайская» и «Саранская».

Мулда оседания образовалась на территории шахты им. И. А. Костенко — крупнейшего

угледобывающего предприятия угольного департамента компании АО «Арселор Миттал Темиртау». Шахта расположена в г. Караганде. На рис. 2 отчетливо видно образование мульд оседаний, разрастающихся со временем.

По результатам обработки серии радарных снимков был построен график оседаний земной поверхности по точке его максимального оседания, что составляет 130 мм за исследуемый период (рис. 3). Полученная интерферограмма (рис. 4) показала образование мульды оседаний на территории шахты «Абайская», которая находится в г. Абай Карагандинской области и входит в состав «Арселор Миттал Темиртау».

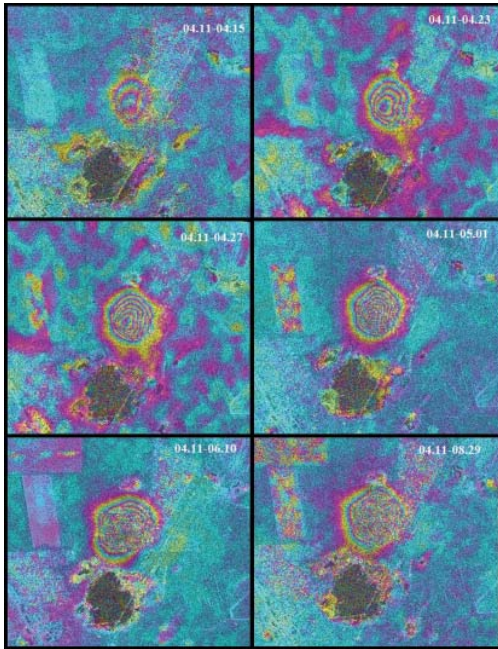


Рис. 4. Дифференциальная интерферограмма в районе шахты «Абайская»

Динамика оседания земной поверхности по точке его максимального значения на территории шахты «Абайская» проиллюстрирована на рис. 5. Из графика видно, что оседание за период с апреля по август 2014 г. составляет 135 мм.

Шахта «Саранская» — угледобывающее предприятие в г. Сарань (рис. 6) входит в состав угольного департамента АО «Арселор Миттал Темиртау».

По графику динамики оседания на шахте «Саранская», построенному по точкам максимального оседания на данной территории, видно, что оседания составляют 150 мм (рис. 7).

Группой исследователей КарГТУ были проведены комплексные работы по определению смещения земной поверхности, подработанной горными выработками

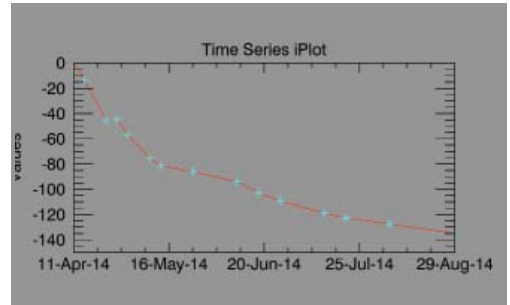


Рис. 5. Максимальная величина оседания земной поверхности в районе ведения работ на шахте «Абайская»

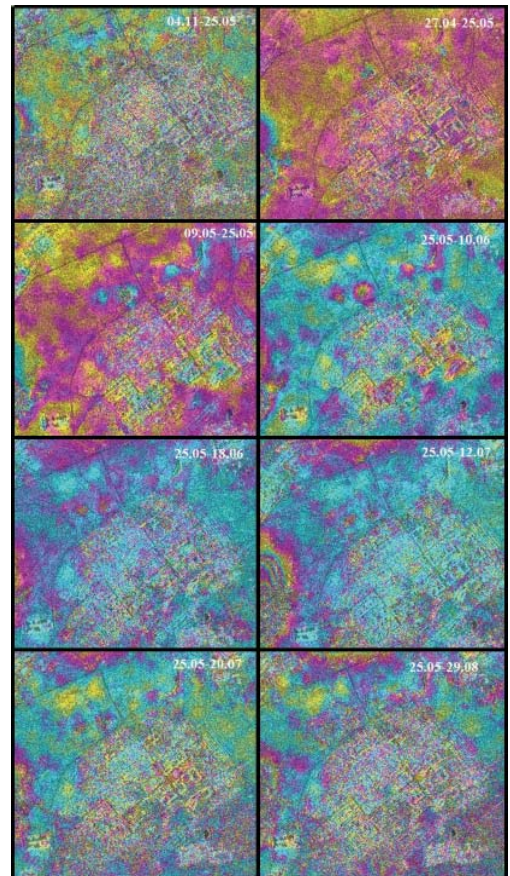


Рис. 6. Дифференциальная интерферограмма в районе шахты «Саранская»

в районе шахты им. Т. Кузем-баева (рис. 8). Выполнен геотехнический расчет, определены смещения земной поверхности методом нивелирования и спутниковой радарной интерферометрии.

По результатам обработки серии радарных снимков был построен график оседаний земной поверхности по точкам максимального оседания, из которого видно, что максимальное оседание за период наблюдения составило более 150 мм (рис. 9).

После получения результатов обработки радарных данных был произведен геотехнический расчет смещения земной поверхности, подработанной горными выработками в районе шахты им. Т. Кузем-баева. На рис. 10 приведена граница мульды сдвижений земной поверхности, построенная в соответствии с известными методиками [4].

На рис. 10 видно, что максимально возможная величина оседания составляет 123 см. В данной работе максимальная скорость оседания в исследуемом районе вычислена по формуле

$$v_0 = 12 \frac{m * c * \cos \alpha}{H} \left( 1 + 0,3 \frac{H_1}{H} \right),$$

где  $H$  — глубина разработки,  $m$  — вынимаемая мощность пласта,  $\alpha$  — угол падения пласта,  $c$  — скорость подвигания очистного забоя,  $H_1$  — мощность ранее подработанной толщи.

Общая продолжительность процесса сдвижения составила

$$T = 1,4 \frac{H}{U} \approx 8 \text{ мес.},$$

где  $H$  (м) — глубина разработки скорости,  $U$  (м/мес.) — подвигания забоя лавы.

Границы опасного участка были нанесены на планы горных работ шахты им. Т. Кузембаева и представлены кругом на рис. 11. Они были получены путем

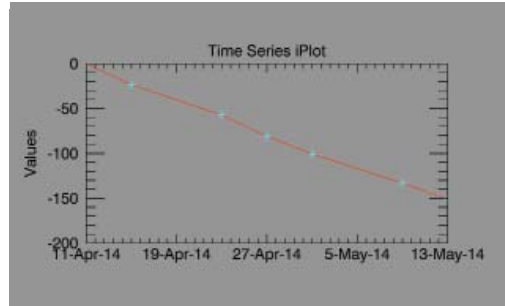


Рис. 7. Максимальная величина оседания земной поверхности в районе ведения работ на шахте «Саранская»

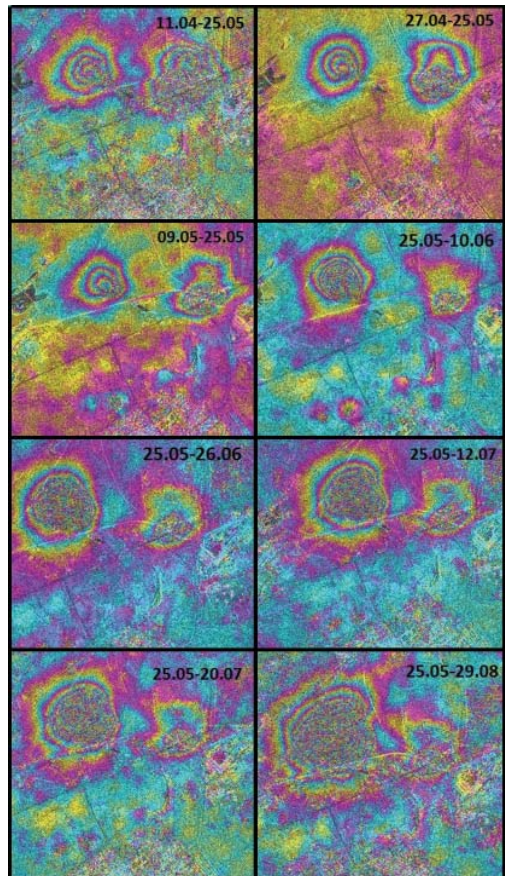


Рис. 8. Несколько дифференцированных интерферограмм шахты им. Т. Кузембаева, построенных по разным парам снимков

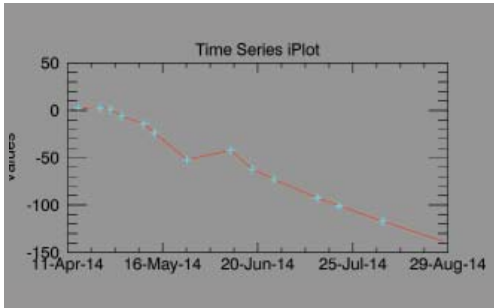


Рис. 9. Максимальная величина оседания земной поверхности в районе ведения работ на шахте им. Т. Нуземава за все время наблюдения

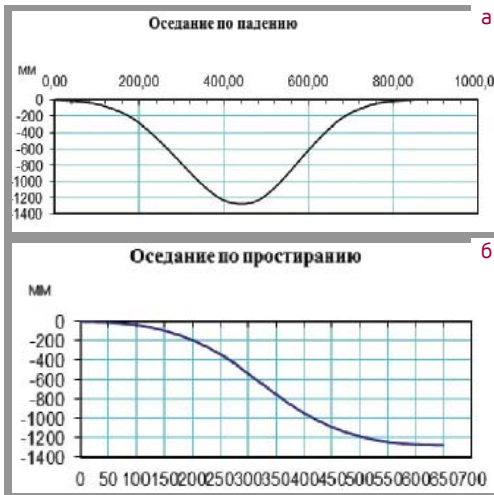


Рис. 10. Мульды оседаний земной поверхности: а) вкост простирания пласта; б) по простиранию пласта

наложения планов горных работ шахты на карту, взятую с сервиса Google Maps. В центре данного участка находится пересечение железнодорожного пути и трассы А17 [5].

В границах этого участка были заложены две профильные линии, по которым проводилось повторное нивелирование. Согласно правилам охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния



Рис. 11. Определение границ выработанного пространства и трансформирование плана добычи в Google Maps

подземных горных разработок на угольных месторождениях интервал времени между повторным нивелированием устанавливают исходя из ожидаемых скоростей современных вертикальных движений земной коры. Для получения детальных данных о процессе сдвижения, кроме начальных и конечных наблюдений, проводится не менее пяти серий наблюдений через интервал

$$t = \frac{H}{6c} = 36 \text{ сут.},$$

где  $H$  (м) — глубина разработки у нижней границы выработки,  $c$  (м/сут.) — скорость подвигания забоя.

Интегрированные результаты пяти серий нивелирования приведены на графиках (рис. 12).

Работа в границах опасного участка проводилась с апреля по сентябрь, что составляет 6 месяцев. В этот период на данном участке велась добыча угля. Максимальное значение оседаний за этот



Рис. 12. Графики оседаний земной поверхности по профильным линиям по результатам нивелирования

период по результатам нивелирования составило 150 мм (рис. 13). Величины оседаний поверхности Земли, полученные различными методами, показали хорошую корреляцию. При этом спутниковая радарная интерферометрия при мониторинге сдвижений подработанных территорий земной поверхности имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами съемки и расчета оседаний. Следует также отметить, что она позволяет вести наблюдения на больших по площади территориях и получать наглядные результаты, регламент наблюдений зависит только от заказчика. Это позволяет рекомендовать для мониторинга оседаний и деформаций спутниковую радарную интерферометрию как надежную методику наблюдения за сдвижением массива горных пород.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кантемиров Ю. И. Обзор возможностей новой версии SARscape 4.4 // Геоматика. – 2012. – №1. – С. 22–26.
2. Kashnikov Y. A., Musikhin V. V., Lyskov I. A. Radar interferometry — based determination of ground surface subsidence under mineral mining// JOURNAL OF MINING SCIENCE Издательство: Springer New York Consultants Bureau ISSN: 1062-7391 IF=0,223, том 48. Номер 4. Год 2012. С. 649–655.3.



Рис. 13. Проведение геодезического мониторинга

3. Ferretti A., Perissin D., Prati C. et al., 2004. ERS-ENVISAT Permanent Scatterers Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2004[C]. Proceedings Anchorage (Alaska), 2004.
4. «Правила охраны сооружения и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях», Ленинград, 1986, С. 74.
5. Мозер Д. В., Туякбай А. С., Ге́й Н. И., Нагибин А. А., Самбергенова А. К. Мониторинг подработанных территорий Карагандинск-ого угольного бассейна с использованием спутниковой радарной интерферометрии, научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», СГГА, Новосибирск, 16–18 апреля 2014 г.