

зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом №1082 от 10.07.2012 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
050026, г. Алматы,
ул. Карасай батыра, 146, оф. 401.
Тел.: 8 (727) 326-91-69 (вн. 125)

www.minmag.mining.kz

Представители журнала:

Центрально-Казахстанский регион –
ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ ДЕМИН
vladfdemin@mail.ru

Российская Федерация, Москва –
ИРИНА ЯРОПОЛКОВНА ШВЕЦ
shvetsirina@yandex.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Украина –
ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ БОНДАРЕНКО
bondarenkov@ntu.org.ua

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс **75807** в каталогах:
АО «Казпочта»,
ТОО «Эврика-Пресс»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать **19.04.2019 г.**

Отпечатано:
Типография «ART DO»
Республика Казахстан,
г. Алматы, ул. Натарова, 95
тел.: +7 (727) 328-41-11



УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
ТОО «Научно-производственное
предприятие «ИНТЕРРИН»

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Ю.А. БОЧАРОВА, Yuliya.Bocharova@interrin.kz

Специалист по связям с общественностью

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Помощник редактора

И.П. КОНОНОВА (ПАШИНИНА),
Irina.Pashinina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

З.С. Абишева, д-р техн. наук, академик КазНАН

Б.Р. Ахметгалиев, профессор КОУ

А.Б. Бегалинов, д-р техн. наук, профессор

А.М. Бейсебаев, д-р техн. наук, профессор

Н.С. Бектурганов, д-р техн. наук, профессор

А.А. Бектыбаев, канд. техн. наук

В.А. Белин (Россия), д-р техн. наук, профессор

Н.С. Буктуков, д-р техн. наук, профессор

А.Е. Воробьев, (Россия), д-р техн. наук, профессор

С.Ж. Галиев, д-р техн. наук, профессор

Е.К. Едыгенов, д-р техн. наук, профессор

В.Г. Загайнов, канд. техн. наук

А.А. Зейнуллин, д-р техн. наук, профессор

Д.Р. Каплунов, (Россия), д-р техн. наук, профессор

К.И. Кожоголов, (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

А.А. Лисенков, д-р техн. наук, профессор

В.Л. Лось, д-р геол.-минерал. наук, профессор

В.А. Луганов, д-р техн. наук, профессор

С.К. Молдабаев, д-р техн. наук, профессор

В.И. Нифадьев, (Кыргызстан), д-р техн. наук, профессор

М.Б. Нурпеисова, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Ольшанский, член-корреспондент МАИН

С.Г. Оника, (Беларусь), д-р техн. наук, профессор

Е.А. Петров (Россия), д-р техн. наук, профессор

И.Н. Столповских, д-р техн. наук, профессор

Г.И. Тамбиев, д-р техн. наук

П.Г. Тамбиев, канд. техн. наук

Ф. Хабаши, (Канада) Dr. techn. [Vienna], Dr. h.c. [St. Petersburg], Dr.h.c. [National Tech Univ, Lima], Dr.h.c. [San Marcos Univ, Lima]

Р.Р. Ходжаев, д-р техн. наук

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

- 3** Колонка редактора
- 4** Новая технология взрывных работ: ЭВВ безопасно и эффективно ®
- 6** Стагурова О.В.
Системы взвешивания для подземных ПДМ и самосвалов ®
- 8** Кожемяко И.
Колымский флагман ®
По материалам форума Minex Kazakhstan 2019
- 10** Иргалиев А.
Национальный банк данных минеральных ресурсов Республики Казахстан
Геодезия
- 14** Әбен А., Жақыпбек Ы., Әсетқызы А.
Изучение важности строительства метрополитена в мегаполисе для улучшения пассажиропотока и создания его геодезической опорной сети
- 19** Аймбетова Г.А., Цычуева Н.Ю.
Применение РСА интерферометрии для мониторинга склоновых геодинамических процессов
Геотехнология
- 24** Куандыков Т.А., Кожевников А.А., Калиев Б.З.
Эффективное воздействие на призабойной зону пласта гидравлическими импульсами
- 29** Мырзахметов Б.А., Сладковский А.В., Токтамисова С.М.
Испытательный стенд для проведения экспериментальных исследований комбинированной насосной установки
Переработка полезных ископаемых
- 32** Samet R.S., Akimbekov N.Sh., Zhaksybayeva A.S., Zhubanova A.A.
Interpretation of metagenomic analysis of sulfur bacteria in brown coal samples from Kazakhstan
Металлургия
- 37** Курмансейтов М.Б., Койшина Г.М.
Шойынды металл бұйымдарының бет қабатында қалыптасқан болатты қабаттың қалыңдығын, көміртегінің мөлшеріне және процестің көрсеткіштеріне тәуелді болуын болжайтын математикалық моделдер
Геоинформатика
- 42** Алтаева А.А., Имансакипова Б.Б., Чернов А.В., Кидирбаев Б.
Повышение эффективности геоинформационных систем на основе использования технологий Big Data
Юбилей
- 48** Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Рысбеков К.Б.
Источник знаний и творец профессии отважных – наш КазГМИ – КазПТИ – КазНТУ – КазНИТУ
Промышленная безопасность
- 52** Абылкасымов А.Т.
Нарушение требований правил обеспечения промышленной безопасности на складе взрывчатых материалов ТОО «Фирма «Взрывтехнологии»
- 55** Сведения об авторах
- 56** Требования к оформлению статей

Поправка.

Приносим свои извинения. В №3 2019 г. на стр. 18 приведены неверные сведения об авторах. Следует читать:

Author 1	Name&Surname: Los V.L.
	Company: Academy of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)
	Work position: Chief Researcher
	Scientific degree: Doctor of Geological-Mineralogical Sciences
Author 2	Contacts: v_los@mail.ru
	Name&Surname: Uzhkenov B.S.
	Company: Academy of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan)
	Work position: President
Author 2	Scientific degree: Doctor of Geological-Mineralogical Sciences
	Contacts: amr_rk@mail.ru

Код МРНТИ 36.23.31

Г.А. Аймбетова, Н.Ю. Цычуева

Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

ПРИМЕНЕНИЕ РСА ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СКЛОНОВЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Бұл мақала синтезделген апертурасы бар радиолокациялық интерферометрияны әртүрлі пайдалану баламасымен қолдана отырып, көлбеулік геодинамикалық процестердің, әсіресе көшкіндердің мониторингінге арналған әдістердің зерттеулеріне шолу болып табылады. Бірдей суреттердің әртүрлі диапазондарында және әртүрлі өңдеу бағдарламаларында пайдаланудың кейбір артықшылықтары мысалға келтіріледі. Авторлар көшкіндерді анықтау, жіктеу және мониторинг жасаудың заманауи әртүрлі тәсілдерін қарастырады.

Статья представляет собой обзор исследований методов мониторинга склоновых геодинамических процессов, в частности, оползневых, с использованием радиолокационной интерферометрии с синтезированной апертурой с разными методиками использования. Приводятся некоторые преимущества использования одних и тех же снимков в разных диапазонах и в разных программах обработки. Современные методы исследования оползней очень разнообразны. Авторы рассматривают различные подходы к выявлению, классификации и мониторингу оползней.

Түйінді сөздер: геодинамикалық үрдістер, көшкіндер, мониторинг, синтезделген апертурасы бар радиолокациялық интерферометрия, Жерді қашиқтықтан зондау, жерсеріктік құрал-жабдықтар, тұрақты шағылыстырғыштар, гарыштық суреттер, корегистрация, дифференциалды интерферометрия.

Ключевые слова: геодинамические процессы, оползни, мониторинг, радиолокационная интерферометрия, синтезированная апертура, дистанционное зондирование Земли, спутниковые технологии, устойчивые отражатели, космические снимки, корегистрация, дифференциальная интерферометрия.

Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние, так как при достижении некоторого критического значения напряжений может произойти резкое изменение структуры объекта, свойств и т. п., вызывающее нежелательные и даже катастрофические для людей последствия.

Локальная и, в некоторой степени, региональная геодинамика связана с современными геодинамическими движениями на земной поверхности в приповерхностной части литосферы, т. е. там, где происходит основная техногенная деятельность, связанная с недропользованием. Недропользование включает в себя не только добычу полезных ископаемых, но и всю сферу человеческой деятельности, в которой земная поверхность и верхняя часть литосферы выступают в качестве среды функционирования и основания для возводимых сооружений. Таким образом, к сфере недропользования можно отнести весь минерально-сырьевой комплекс по добыче, переработке и транспортировке полезных ископаемых. Это также весь строительный комплекс, связанный с возведением сооружений на земной поверхности и в подземных условиях.

В современной геодинамике рассматриваются движения земной поверхности и приповерхностной части литосферы, происходящие в настоящее время, а для конкретных объектов недропользования – в течение срока службы. Взаимосвязь естественных и техногенных временных параметров обусловлена тем, что изучение современных геодинамических движений, наряду с огромным значением для фундаментальной области наук о Земле, играет важную роль в решении важнейшей прикладной проблемы – предотвращение природно-технических катастроф в сфере недропользования¹.

Одним из разновидностей катастрофических локальных геодинамических процессов являются

склоновые геодинамические процессы, в особенности, оползневые. Для предотвращения или предупреждения негативных последствий оползневых процессов в некоторых странах установлена система мониторинга экзогенных геологических процессов. На основании наблюдений за ними составляются прогнозы. Главной задачей исследований является количественное решение прогнозной оценки подверженности территории воздействию оползневых процессов в специфических условиях, в результате которого составляются оперативные (краткосрочные), среднесрочные и долгосрочные прогнозы. Для составления оперативных прогнозов оползневых процессов установлено три опасных периода, напрямую связанных с метеорологическими и гидрологическими факторами:

- первый период – весна – начало лета – обусловлен таянием снежного покрова и ливневыми дождями;
- второй период – летний – характеризуется жаркой погодой, вызывающей таяние ледников и подъем уровня воды в реках, а также ливневыми дождями;
- третий период – сентябрь-октябрь – период затяжных дождей, вызывающих проявления оползневых процессов в предгорье-низкогорье.

Научная новизна исследований этих факторов заключается в составлении трехслойных прогнозных карт на базе математической модели конкретного вида оползней с помощью уже имеющегося обзорного картографического материала. Составление таких карт дает возможность оконтуривать участки максимального проявления оползневых процессов, а также рационально планировать хозяйственное освоение территорий, проводить противооползневые мероприятия и мониторинговые наблюдения. Некоторые исследователи называют такие карты картами оценки оползневого риска. Построение прогнозных карт осуществляется с использованием геоинформационных систем (ГИС), для

¹Мазуров Б.Т., Дорогова И.Е. Геодинамика и геодезические методы ее изучения: учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 175 с.

чего производится разделение изучаемой территории на элементарные участки².

Оползни – смещение горных пород, земляных масс вниз по склону под действием собственного веса – происходят на склонах при крутизне 19° и более, на глинистых грунтах при избыточном увлажнении. Причиной образования оползней является нарушение равновесия между сдвигающей силой тяжести и удерживающими силами, которое вызывается:

- увеличением крутизны склона в результате подмыва водой;
- ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами;
- воздействием сейсмических толчков;
- строительной и хозяйственной деятельностью³ [1].

Геологические изыскания показали, что самый крупный оползень в истории Земли произошел в США 30 млн лет назад. Он накрыл территорию площадью 2 тыс. км². В Иране 10 тыс. лет назад со склона хребта Кабир-Куг сошел оползень объемом 20 км³. Каменный поток толщиной 300 м сполз в ближайшую долину, прошел ее, преодолел очередной хребет высотой 600 м и остановился в следующей долине, пройдя расстояние в 20 км. В 1654 г. в Китае оползень унес жизни 12 тыс. человек. Каменная лавина накрыла поселок Эльм в Швейцарии в 1881 г. Из 115 жителей поселка в живых остался только один. В 1920 г. в Китае оползень стал причиной гибели 180 тыс. человек. В 1966 г. часть итальянского города Анридженто, застроенная многоэтажными зданиями, сползла в море. В 1988 г. в пяти районах Омской области произошли оползни. Были разрушены 30 км железной дороги, уничтожены 3 тыс. га пастбищ. В 1989 г. в Гиссарской долине Таджикистана оползень уничтожил кишлак Шарора; погибли 274 человека. Спустя год в Азербайджане оползень уничтожил военный городок Каспийской флотилии. Погибли 9 человек. Этот список можно продолжать бесконечно...

Горы Алматинской области почти повсеместно подвержены оползням и обвалам. В настоящее время эти явления изучены, имеются карты опасных территорий; их общая площадь составляет около 28,5 тыс. км².

Сегодня специалисты столкнулись с очередной проблемой – отсутствием современной службы мониторинга оползней. Работа ведется прежними экспедиционными методами, причем доступ на многие горные территории затруднен – частная собственность. Поэтому проводимая работа занимает длительное время⁴.

Массовая активизация оползней наблюдается при особых метеорологических условиях – выпадении большого количества осадков. Острота проблемы активизации оползней состоит в том, что катастрофические

проявления их могут вызывать не только огромные экономические убытки, но и приводить к гибели сотен и тысяч людей во всех частях мира⁵.

Все факторы, обуславливающие формирование и развитие оползневых процессов делят на три группы:

- 1) постоянные или неизменяющиеся (геологическое строение и рельеф);
- 2) медленно изменяющиеся (современные тектонические движения, климат, гидрогеологические, геокриологические условия, растительность, почвы);
- 3) быстро изменяющиеся (метеорологические, гидрологические, сейсмические условия, хозяйственная деятельность).

Разделение оползней по их механизму проводится на одном иерархическом уровне, выделяется шесть отличных друг от друга типов оползней: скольжения, выдавливания, выплывания, течения, проседания и разжижения.

Оползни-потоки или оползни-сплывы по числу проявлений занимают первое место. Для них характерна тесная связь с корой выветривания пород. В горноскладчатых областях оползни течения связаны с глинистыми элювиально-делювиальными и крупнообломочными покровными образованиями и рыхлыми оползневыми накоплениями. Типичной особенностью механизма оползней течения является полная или частичная потеря первичной структуры пород в зоне смещения вследствие изменения влажности. Под воздействием гравитационных и гидродинамических сил происходит водно-пластическое течение глинистых пород⁵.

Оползни скольжения связаны с различными по составу, возрасту и генезису скальными и полускальными породами. Для них характерно блоковое строение, наличие наклонной поверхности, совпадающей с плоскостями напластования, расщепленности, с крупными тектоническими разломами. Различия состава деформирующихся пород и их структуры определяют различия морфологии, морфометрии и динамики оползней этого типа. Оползни скольжения делятся на две разновидности: консеквентные – соскальзывающие, инсеквентные – срезающие.

Оползни разжижения распространены в областях молодых глинистых отложений моренного генезиса, характерным свойством которых является высокая чувствительность. Глины этой категории обладают способностью внезапного разжижения и перехода в текучее состояние или иксотропность.

Информация о факторах формирования и развития оползневых процессов снимается с геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геоморфологических, климатических и других карт.

²Манукьян Д.А., Кизарисова О.Б. Факторы формирования и развития оползневых процессов в специфических условиях территории КБР, их прогноз и мониторинг. URL: https://studylib.ru/doc/990195/1.6-d.a.-manuk_yan--o.b.-kizarisova (дата обращения: 13.03.2019.).

³Геологические факторы формирования оползней и селевых потоков и вопросы их оценки: под ред. Г.С. Золотарева. – М.: МГУ, 1976. – 70 с.

⁴Алимбетова А.Ж. Защита от оползней в водонасыщенных грунтах с использованием коробчатых габионов: монография. – Алматы: НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2015. – 124 с.

⁵Оползни и сели: под ред. Шеко А.И. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. – Т. 1. – 249 с.

Интенсивность оползневых процессов оценивается площадными и линейными коэффициентами пораженности. Интенсивность проявления оползней определяется двумя показателями: коэффициентом площадной пораженности и коэффициентом частоты оползней.

Коэффициент площадной пораженности K_p – отношение площади, пораженной оползнями f_p , ко всей площади участка F – изменяется от 0 до 1:

$$K_p = f_p / F. \quad (1)$$

Коэффициент частоты оползней K_p – отношение числа оползней n на данном участке к площади этого участка F – изменяется от 0 до 1:

$$K_p = n / F. \quad (2)$$

При окончательном оформлении карты коэффициент площадной пораженности территории вычисляется по формуле:

$$K_p = nfn / F, \quad (3)$$

где n – число оползней на участке;

fn – средняя статистическая площадь одного оползня конкретного генетического типа.

Практическая значимость картографирования заключается в том, что на основе этих прогнозов создается система организации мониторинга, которая включает в себя три подсистемы:

- 1) подготовительные работы (сбор банка данных);
- 2) наблюдения;
- 3) прогноз⁵.

Исследование оползневых процессов является актуальной темой как при строительстве новых объектов, так и при эксплуатации уже возведенных. Систематическое наблюдение за оползнями и своевременно принятые противооползневые мероприятия позволяют предотвратить разрушение откосов (как естественных, так и искусственных), склонов, не допустить угрозы аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях, а значит избежать человеческих жертв.

Основная задача при борьбе с оползнями – обеспечить устойчивость склона, т.е. не допустить возникновения оползня на еще неподвижном склоне или прекратить смещения оползающих масс¹.

Современные новейшие спутниковые технологии значительно усилили роль геодезического метода количественного оценивания геодинамических явлений и процессов как локального и регионального, так и глобального масштабов.

Сегодня многие регионы и государства используют технологии GNSS (ГНСС): достаточно плотные сети пунктов, покрывающие их территории. Измерения в таких сетях выполняются в регулярном циклическом или даже мониторинговом режиме online. Составляются многочисленные карты современных вертикальных и горизонтальных движений для тектонических плит и отдельных регионов. В начале 1990-х годов спутниковые методы получили широкое применение для исследования геодинамических процессов. В настоящее время с применением GNSS-технологий организовано значительное количество сетей разных уровней: глобальная сеть IGS, более десяти региональных сетей

(GEONET, EPN, CORS и другие) и более ста локальных деформационных GNSS-сетей.

Глобальная сеть IGS объединила две самые большие глобальные сети – CIGNET и FLINN, а также несколько сетей континентального масштаба Северной Америки, Западной Европы и Австралии. На сегодняшний день сеть включает более 360 постоянно действующих станций [2].

В последние годы в связи с увеличением антропогенной нагрузки активность оползней как древних, периодически активизирующихся, так и вновь образованных, постоянно возрастает. В связи с этим все более актуальным становится мониторинг активности оползневых склонов, в частности, с применением спутниковых радаров с синтезированной апертурой (РСА интерферометрия или InSAR). К безусловным достоинствам спутниковых методов следует отнести покрытие больших территорий, регулярную, с периодом до 5-7 дней, съемку и возможность изучения динамики оползневых структур по архивным снимкам. При оценке оползневого риска территорий совместно с наземными методами используются методы устойчивых отражателей PS (Persistent Scatterer) [3].

Интерферометрическая методика предполагает наличие пары снимков одного участка земной поверхности, полученных РСА с двух близких, локально параллельных орбит. При обработке два изображения РСА совмещаются друг с другом так, чтобы идентифицировать пиксели, соответствующие одной области поверхности Земли (проводится так называемая корегистрация снимков) и далее вычисляется комплексная интерферограмма, каждый элемент которой равен произведению обратно рассеянного сигнала первого снимка и комплексно сопряженного сигнала второго снимка. Фаза каждого элемента комплексной интерферограммы $\Delta\varphi$ равна разности фаз двух снимков. Она прямо пропорциональна изменению расстояния от антенны интерферометра РСА до отражающей площадки на земной поверхности, но также зависит как от геометрии съемки и топографии, так и от ионосферной и атмосферной задержки [4], т. е.:

$$\Delta\varphi = W(\Delta\varphi_{defo} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_n), \quad (4)$$

где W – оператор свертки;

$\Delta\varphi_{defo}$ – набег фазы за счет смещения отражающей поверхности за период между съемками;

$\Delta\varphi_{atm}$ – фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в атмосфере;

$\Delta\varphi_{topo}$ – набег фазы за счет обзора топографии под двумя разными углами;

$\Delta\varphi_n$ – набег фазы, генерируемый электромагнитными шумами.

Ионосферные помехи часто проявляются в виде линейного тренда по всей интерферограмме и в этом случае легко распознаются и могут быть устранены. Изменения температуры, плотности и влажности воздуха могут приводить к получению ложных смещений в направлении на спутник порядка нескольких сантиметров. Именно поэтому при исследовании медленных деформаций полезный сигнал на интерферограмме часто бывает трудно выделить на фоне интенсивных помех [5].

Это обстоятельство ограничивает возможности метода дифференциальной интерферометрии случаями

достаточно больших деформаций, как природного (землетрясения, оползни, деформации склонов вулканов), так и техногенного (просадки на разрабатываемых месторождениях, над тоннелями, шахтами) происхождения. Поэтому в настоящее время начали активно развиваться методы, основанные на использовании не отдельных пар, а серий (стека) снимков, позволяющие найти отражающие площадки, для которых влияние различных шумов на каждом снимке рассматриваемой серии минимально [5].

Первое поколение таких методов – технология устойчивых отражателей PS (permanent или persistent scatterers), реализованная, например, в программных пакетах PSInSAR и DePSI. Технология используется для определения полей смещений территорий с большим числом устойчивых отражателей радарного сигнала, имеющих достаточно высокую когерентность на всей серии снимков. Временной ряд смещений ищется в заданном классе функций: линейной, периодической, Хевисайда и т. д. Второе поколение подобных методов разработано для оценки смещения и когерентных, и декоррелированных пикселей. Последние называются распределенными отражателями DS (distributed scatterers), имеющими достаточно высокие значения когерентности лишь для некоторых интерферометрических пар снимков (подробнее об условиях потери когерентности можно посмотреть в работе [4]). Первые попытки оценки смещений для DS сделаны при разработке концепции метода малых базовых линий SBAS (Small BAselines Subsets) [6]. Подход заключается в том, что для уменьшения эффекта декорреляции из всего набора возможных интерферометрических пар выбираются те, которые имеют малые базовые линии. Далее интерферограммы, построенные для выбранных пар снимков, разворачиваются и осредняются (так называемый multilooking). После этого восстанавливаются временные серии фазы каждого пикселя по отношению к снимку-мастеру. Очевидно, что достоверность процесса развертки имеет определяющее значение при реализации этого метода и именно на природных объектах, вследствие пространственной и временной декорреляции, выполнить развертку фазы наиболее сложно.

Некоторое промежуточное положение между этими двумя подходами занимает метод, предложенный А. Хупером⁶ и реализованный в программном пакете StaMPS/MTI. Метод основан на фазовой стабильности как критерию выбора устойчивого отражателя и позволяет уверенно идентифицировать устойчивые отражатели на природных объектах. Данный метод дает

возможность фильтровать высокочастотные по времени помехи, меняющиеся от снимка к снимку, что существенно подавляет не только аппаратные шумы, но и атмосферные, а также орбитальные погрешности. При благоприятных условиях методы устойчивых отражателей позволяют оценивать средние скорости смещения земной поверхности или техногенных объектов с точностью до нескольких миллиметров в год.

Одной из основных проблем указанных методов является то, что пространственная плотность устойчивых отражателей на природных объектах оказывается недостаточной, что приводит к ошибкам развертки фазы (методы PSInSAR, DePSI). В методе SBAS ситуация осложняется тем, что требуется выполнять развертку фазы для всех пар снимков, выбранных для анализа, а их может быть более сотни. Кроме того, устойчивые отражатели, идентифицированные на природных объектах, зачастую характеризуются достаточно шумными временными сериями (методы StaMPS/MTI(PS), SBAS).

Следующим шагом в развитии методов PS стали технологии (SqueeSAR, ILS SM-phase estimation), которые за счет предварительной адаптивной фильтрации снимков делают возможным совместный поиск и высококогерентных, и распределенных отражателей. Это увеличивает число отражателей, в том числе и на природных объектах, повышает качество полученных результатов [5].

Оползни вызывают крупные чрезвычайные ситуации с большим экономическим ущербом для населения, с человеческими жертвами. Исследование оползней – одна из самых трудных задач из-за особенностей динамики этого природного явления. Опыт показывает, что комплексирование различных современных спутниковых методов наблюдений позволяет успешно изучать оползневые процессы и осуществлять мониторинг их активности даже в сложных условиях. Особое место среди методов исследования дается PCA интерферометрии. Успех мониторинга во многом определяется правильной постановкой задачи, выбором частотных диапазонов и периодов съемки, методов оценки полей смещений. Интерпретация результатов требует привлечения информации об изучаемом объекте и возможном характере его смещений. С помощью PCA интерферометрии можно зафиксировать увеличение скорости движения оползней задолго до его схода. Активизацию смещений можно зафиксировать и наземными методами, но для этого необходимо проводить регулярные наблюдения, что дорого и затруднительно, применение же PCA интерферометрии может существенно сократить объем наземных работ.

⁶Hooper A., Segall P., Zebker H. *Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcan Alcedo, Galapagos*. // *J. Geophysical Research*, 2007. – Vol. 112. B07407. DOI: 10.1029/2006JB004763.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбушина В.К., Харькина М.А. Оползни: последствия их проявления. // *Экология и промышленность России (ЭКИП)*, 1999. – №12. – С. 39-42.
2. Серебрякова Л.И., Ходаков П.А. О постановке работ на геодинамических полигонах. // *Геодезия и картография*, 2006. – №5. – С. 27-35.

3. Михайлов В.О., Киселева Е.А., Смольянинова Е.И., Голубев В.И., Дмитриев П.Н., Тимошкина Е.П., Хайретдинов С.А. Обобщение опыта применения различных методов обработки РСА снимков для изучения и мониторинга оползневой активности склонов в районе Большого Сочи. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2016. – Т. 13. – №6. – С. 137-147.
4. Bamler R., Hartl P. Synthetic aperture radar interferometry. // *Inverse Problems*, 1998. – Vol. 14(4). – P. R1-R54.
5. Киселева Е.А., Михайлов В.О., Смольянинова Е.И., Дмитриев П.Н. К вопросу мониторинга смещений земной поверхности методами радарной спутниковой интерферометрии. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2017. – Т. 14. – №5. – С. 122-132.
6. Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. // *IEEE Transact. Geoscience and Remote Sensing*, 2002. – Vol. 40. – №11. – P. 2375-2383.

Статья публикуется по рекомендации заместителя главного редактора, доктора технических наук Л.А. Крупника

«Gornyy zhurnal kazakhstana»/ «Mining Journal of Kazakhstan»	
Title	<i>About some issues of application of SAR interferometry for monitoring of slope geodynamic processes</i>
Autor 1	Name&Surname: Aimbetova G.A.
	Company: Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)
	Work position: Lecturer of Department of Cartography and Geoinformatics
	Scientific Degree: PhD student
	Contacts: glzar@mail.ru
Autor 2	Name&Surname: Tsyhuyeva N.Yu.
	Company: Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)
	Work position: Senior Lecturer, Associate Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics at the Al-Farabi Kazakh National University; Leading Researcher and Project Manager of «National Center for Space Research and Technology»
	Scientific Degree: Candidate of Geographical Sciences
	Contacts: tsnaty@mail.ru
Abstract	Everyday we are witnesses of catastrophes caused by sloping geodynamic processes, in particular landslides. Landslides, both natural and man-made, are the cause of numerous economic losses and lead to numerous human casualties. Brief information about the origin and classification of landslides have become the object, and the listing of different methods of their monitoring are the main part of this article. Among these methods for monitoring landslides, the authors distinguish modern methods based on satellite imagery. In particular, the article gives the advantages of the method of radar interferometry, lists some of the drawbacks and possible methods for correcting them. The article also lists the newly created methods that extend the capabilities of SAR interferometry. The authors conclude that with the help of this method it is possible to increase the effectiveness of monitoring and prevention of landslide processes, thereby saving on ground-based monitoring methods.
Key words	geodynamic processes, landslides, monitoring, radar interferometry with synthetic aperture, remote sensing, satellite technology, persistent scatterers, satellite imagery, coregistration, differential interferometry.
Reference	<p>1. Gorbushina V.K., Khar'kina M.A. Opolzni: posledstviya ikh proyavleniya (Landslides: consequences of their manifestation). // <i>Ekologiya i promyshlennost' Rossii (EKIP) = Ecology and industry of Russia (CREW)</i>, 1999. – №12. – Pages 39-42.</p> <p>2. Serebryakova L.I., Khodakov P.A. O postanovke rabot na geodinamicheskikh poligonakh (About statement of works on geodynamic polygons). // <i>Geodeziya i kartografiya = Geodesy and cartography</i>, 2006. – №5. – Pages 27-35.</p> <p>3. Mikhaylov V.O., Kiseleva E.A., Smol'yaninova E.I., Golubev V.I., Dmitriev P.N., Timoshkina E.P., Khayretdinov S.A. Obobshchenie opyta primeneniya razlichnykh metodov obrabotki RSA snimkov dlya izucheniya i monitoringa opolznevoy aktivnosti sklonov v rayone Bol'shogo Sochi (Generalization of experience of application of various methods of processing SAR images for the study and monitoring of landslide activity of slopes in the area of the Big Sochi). // <i>Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space</i>, 2016. – Vol. 13. – №6. – Pages 137-147.</p> <p>4. Bamler R., Hartl P. Synthetic aperture radar interferometry. // <i>Inverse Problems</i>, 1998. – Vol. 14(4). – Pages R1-R54.</p> <p>5. Kiseleva E.A., Mikhaylov V.O., Smol'yaninova E.I., Dmitriev P.N. K voprosu monitoringa smeshcheniy zemnoy poverkhnosti metodami radarnoy sputnikovoy interferometrii (On the issue of monitoring the earth's surface displacements by radar satellite interferometry). // <i>Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space</i>, 2017. – Vol. 14. – №5. – Pages 122-132.</p> <p>6. Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. // <i>IEEE Transact. Geoscience and Remote Sensing</i>, 2002. – Vol. 40. – №11. – Pages 2375-2383.</p>

Akimbekov N.S., PhD, Postdoctoral Researcher, Senior Researcher of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), akimbeknur@gmail.com

Samet R.S., Master of Engineering Sciences, PhD student, Trainee Researcher of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), mraushans@gmail.com

Zhaksybayeva A.S., BSc, Assistant Researcher of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), zhaksybayevaa@gmail.com

Zhubanova A.A., Professor of Biotechnology Department, Chief Researcher of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), azhar_1941@mail.ru

Абылкасымов А.Т., руководитель отдела государственного надзора в горнорудной и нерудной промышленности Департамента Комитета индустриального развития и промышленной безопасности Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан по Карагандинской области (г. Караганда, Казахстан), umk_prombez_karg@mail.ru

Аймбетова Г.А., PhD студент, преподаватель кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан), glzar@mail.ru

Алтаева А.А., докторант Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (Алматы, Казахстан), a.aselya_92@mail.ru

Әбен А., магистр техн. наук, ассистент, докторант Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), ardana_c_m@mail.ru

Әсетқызы А., магистр технических наук, ассистент Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), asetkyzy_aizada@mail.ru

Битимбаев М.Ж., выпускник 1962 г., д-р техн. наук, профессор, академик НИА РК и Международной инженерной академии, эксперт ТОО «Корпорация Казахмыс», главный редактор «Горного журнала Казахстана», mbitimbayev@mail.ru

Жакыпбек Ы., доктор PhD, ассистент профессора Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), moldir_09@mail.ru

Имансакипова Б.Б., доктор PhD, заведующая кафедрой маркшейдерского дела и геодезии Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (Алматы, Казахстан), imansakipova@mail.ru

Иргалиев А.Ж., магистр эконом. наук в области управления проектами, профессионал в управлении проектами (Project Management Professional, PMP PMI), член-корр. Международной академии информатизации, эксперт, практикующий бизнес-тренер по управлению проектами, директор проекта «Национальный банк данных минеральных ресурсов РК» Акционерного общества «Национальная геологоразведочная компания «Казгеология», alibek.irgaliyev@gmail.com

Калиев Б.З., канд. техн. наук, ассоциированный профессор Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), bakaliev@mail.ru

Кидирбаев Б., докторант Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (Алматы, Казахстан), kid_pochta@mail.ru

Кожевников А.А., д-р техн. наук, профессор Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (Днепр, Украина), aak2@ua.fm

Кожемяко И., специалист по маркетингу Акционерного общества «Магаданский механический завод» (г. Магадан, Россия), sales@mmzco.ru

Койшина Г.М., PhD докторы, ғылыми қызметкер, Коммерциялық емес «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» Акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан)

Крупник Л.А., выпускник 1959 г., д-р техн. наук, профессор, академик НАН ВШ РК, профессор-исследователь кафедры «Технологические машины и оборудование» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), leonkr38@mail.ru

Куандыков Т.А., PhD, лектор Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), tilepbay_87@mail.ru

Курмансейтов М.Б., техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Коммерциялық емес «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» Акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан), murat.kmb@mail.ru

Мырзахметов Б.А., канд. техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), myrzakhmetov_ba@mail.ru

Рысбеков К.Б., выпускник 1995 г., канд. техн. наук, доцент, академик НАГН, заведующий кафедрой «Горное дело» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), kanay_r@mail.ru

Сладковский А.В., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Логистика и транспортные технологии» Силезского технического университета (Катовице, Польша), aleksander.sladkowski@polsl.pl

Стагурова О.В., генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «Ньютракс РУС», ostagurova@newtrax.com

Токтамисова С.М., ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование», магистр Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), salta.mahmood@gmail.com

Цычуева Н.Ю., канд. геогр. наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики Казахского национального университета им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан); ведущий исследователь, руководитель проекта Акционерного общества «Национальный центр космических исследований и технологий» (г. Алматы, Казахстан), tsnataly@mail.ru

Чернов А.В., докторант Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева» (Алматы, Казахстан), xalekseix_2693@mail.ru