

Научно-практическая статья/Research article

УДК 528.48:528.88: 528.721.212.6

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Анализ комплексного геодинамического мониторинга деформаций борта карьера с использованием радарной интерферометрии и лазерного сканирования

И. Т. Андреев¹✉

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты и анализ данных геодинамического мониторинга масштабной деформации западного борта карьера. Комплексный мониторинг осуществлялся с применением наземного интерферометрического радара Ground Probe SSR-381 XT и лазерного сканирования системой Maptek SR3. Рассмотрены практические аспекты интерпретации данных в режиме реального времени, выделены ключевые стадии развития деформации, проанализировано влияние техногенных (массовые взрывы) и природных (атмосферные осадки) факторов на кинематические параметры смещений. Особое внимание уделено адаптации методики мониторинга в процессе развития аварийной ситуации, включая перенастройку пороговых значений сигналов тревоги и анализ ограничений используемых методов. На основе данных лазерного сканирования построена 3D-модель поверхности скольжения и выполнен прогноз объема развала. Разработанный и апробированный комплексный подход позволил обеспечить безопасное ведение горных работ в условиях активного смещения массива и минимизировать экономические потери от простоев.

Ключевые слова: карьер, наземный интерферометрический радар, развал, прогнозирование, безопасность горных работ

Для цитирования:

Андреев И. Т. Анализ комплексного геодинамического мониторинга деформаций борта карьера с использованием радарной интерферометрии и лазерного сканирования. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 8–17. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Analysis of comprehensive geodynamic monitoring of open-pit bench deformations using radar interferometry and terrestrial laser scanning

I. T. Andreev¹✉

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a comprehended geodynamic monitoring campaign addressing large-scale deformation of the western open-pit bench. The monitoring was conducted using a ground-based interferometric radar (GroundProbe SSR-381 XT) in combination with terrestrial laser scanning (Maptek SR3). The study describes a workflow for real-time data interpretation, delineates the principal stages of deformation development, and quantifies the influence of anthropogenic (mass blasting) and natural (precipitation) factors on the kinematic characteristics of displacement. Particular emphasis is placed on adaptation of the monitoring methodology during the evolution of the emergency, including recalibration of alarm thresholds and evaluation of the limitations inherent to the employed techniques. Using terrestrial laser scanning data, a three-dimensional model of the open-pit sliding surface was constructed and a forecast of the collapse volume was produced. The results indicate that the implemented comprehensive monitoring enabled the safe continuation of mining operations amid active mass movement and reduced economic losses associated with open-pit downtime.

Keywords: open-pit mine, ground-based interferometric radar, collapse, forecasting, mining safety

For citation:

Andreev I. T. (2026). Analysis of comprehensive geodynamic monitoring of open-pit bench deformations using radar interferometry and terrestrial laser scanning. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 8–17. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-8-17>

Введение

Актуальность эффективного геодинамического мониторинга на карьерах возрастает с увеличением глубины открытых работ и сложностью инженерно-геологических условий. Современные дистанционные методы, такие как наземная радарная интерферометрия и лазерное сканирование, позволяют с высокой точностью и частотой получать данные о смещениях горного массива в режиме, близком к реальному времени [1]. Однако их комплексное применение в условиях быстроразвивающихся деформаций, осложненных техногенным воздействием, требует разработки специализированных методик интерпретации и адаптации систем оповещения [2]. В последнее десятилетие наземная радарная интерферометрия и лазерное сканирование стали стандартом для мониторинга крупных смещений на горных объектах [3]. Их преимущество перед традиционными инструментальными методами заключается в высокой плотности измеряемых точек, непрерывности контроля и оперативности получения данных. Однако прямое сравнение данных, полученных дистанционными и контактными методами, особенно в сложных геологических и техногенных условиях, остается актуальной задачей. Такое сравне-

ние позволяет не только верифицировать данные, но и оценить систематические погрешности, возникающие из-за влияния атмосферы, геометрии сканирования и изменения свойств поверхности. Таким образом, комплексное применение наземной интерферометрии и лазерного сканирования с обязательной валидацией по контрольным точкам или профилям представляет собой следующую ступень в развитии систем геодинамического мониторинга.

Карьер представляет собой уникальный объект для апробации подобных методик. Возникновение и развитие крупномасштабной деформации в сложных геологических условиях потребовало интеграции данных от различных систем мониторинга для принятия оперативных решений по обеспечению безопасности.

Целью настоящего исследования является обобщение практического опыта комплексного мониторинга крупной деформации западного борта карьера с оценкой эффективности применяемых методик и разработкой рекомендаций для подобных ситуаций.

Задачи исследования:

– проанализировать кинематику развития деформации на основе данных радарного мониторинга и лазерного сканирования;

- оценить влияние внешних факторов (атмосферные осадки, массовые взрывы) на динамику смещений;
- разработать и апробировать методику адаптации системы оповещения в процессе мониторинга;
- выполнить прогноз параметров развала на основе построенной 3D-модели поверхности скольжения.

Объект и методы исследований

Карьер обрабатывался в период с 2019 по 2024 г. Объектом исследования явилась крупная деформация западного борта карьера, возникшая в июле 2023 г. Инженерно-геологические условия борта характеризуются наличием зон тектонической нарушенности с низким значением RQD (показатель качества породы – процент целостности) (≤ 20)), что предопределило их низкую устойчивость [4, 5]. Приблизительный объем вовлеченного в деформацию массива составил около 2,5 млн м³, высота борта – 230 м, ширина – 300 м, глубина трещин отрыва – 30–50 м (рис. 1).

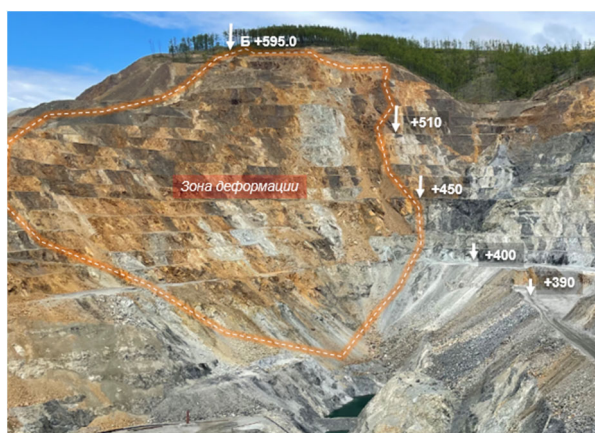


Рис. 1. Деформация западного борта карьера

Для мониторинга использовался комплекс методов:

- наземный интерферометрический радар Ground Probe SSR-381 XT. Принцип действия основан на измерении разности фаз отраженного сигнала между последовательными сканированиями [6, 7]. Точность измерения смещений составляет до 0,1 мм. Радар

работал в режиме непрерывного сканирования с периодом от 5 до 15 минут в зависимости от стадии развития деформации [8];

- лазерное сканирование системой Maptek SR3. Сканирование выполнялось с регулярностью 1–2 раза в неделю, что позволило построить серию высокоточных 3D-моделей (цифровых каркасов) борта [9]. Точность фиксации абсолютных координат достигала 10–20 мм;

– визуальный мониторинг и фотофиксация с использованием БПЛА для документирования макроизменений и верификации данных дистанционных методов.

Развитие деформации условно разделено на три стадии:

- стадия инициации (июнь – июль 2023 г.): локальные вывалы и заколы берм, формирование трещины отрыва;
- стадия интенсивного развития (июль – декабрь 2023 г.): активное смещение массива с пиковыми скоростями, проведение мероприятий по разноске;
- стадия стабилизации (с января 2024 г.): переход к вялотекущему сползанию со скоростями 1–2 м/месяц.

Результаты и обсуждение

Предпосылки к деформации отмечались в 2021–2022 гг., однако активизация процесса произошла в июле 2023 г. после понижения горных работ до горизонтов 420–390 м. 07.07.2023 произошел крупный закол бермы горизонта +390/+450, что послужило началом интенсивного развития трещин вглубь массива (рис. 2).

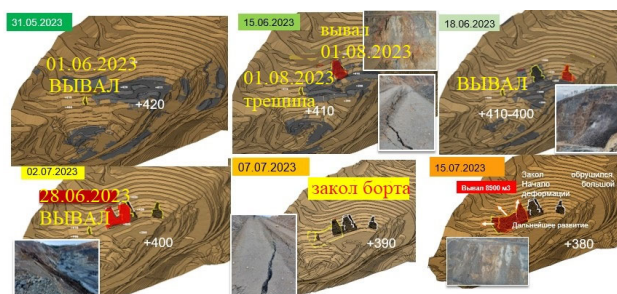


Рис. 2. История развития деформации: июнь – июль 2023 г.

Для разгрузки массива и ликвидации опасности обрушения была проведена двух-этапная разноска [10] объемом 132 000 м³.

Установка радара позволила отслеживать развитие деформации в динамике. К концу ноября 2023 г. деформация окончательно оконтурилась. В декабре 2023 г. был

зафиксирован пик скоростей смещений – до 500 мм/сутки по отдельным пикселям и в среднем 250 мм/сутки по всему массиву (рис. 3). После 11 декабря скорости начали снижаться и деформация перешла в режим квазиустойчивого, вялотекущего сползания (1–2 м/мес).



Рис. 3. Пик скоростей развития деформации

Максимальные локальные скорости достигали 500 мм/сутки, что потребовало введения многоуровневой системы оповещения (табл. 1).

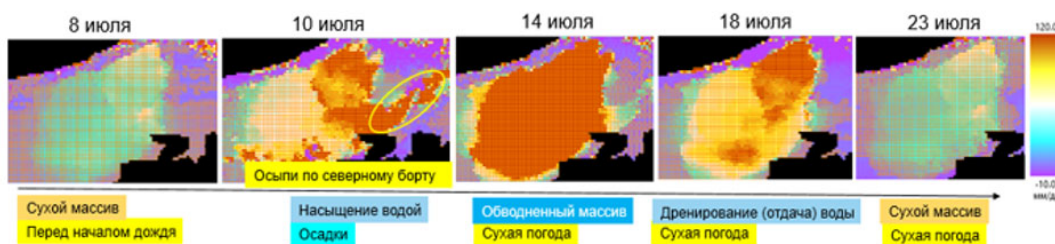
Таблица 1. Пороговые значения системы оповещения

Уровень тревоги	Скорость, мм/ч	Действия
Внимание	5	Усиление наблюдения
Предупреждение	10	Оповещение персонала
Ограничение	15	Приостановка работ в зоне
Эвакуация	20	Немедленная эвакуация

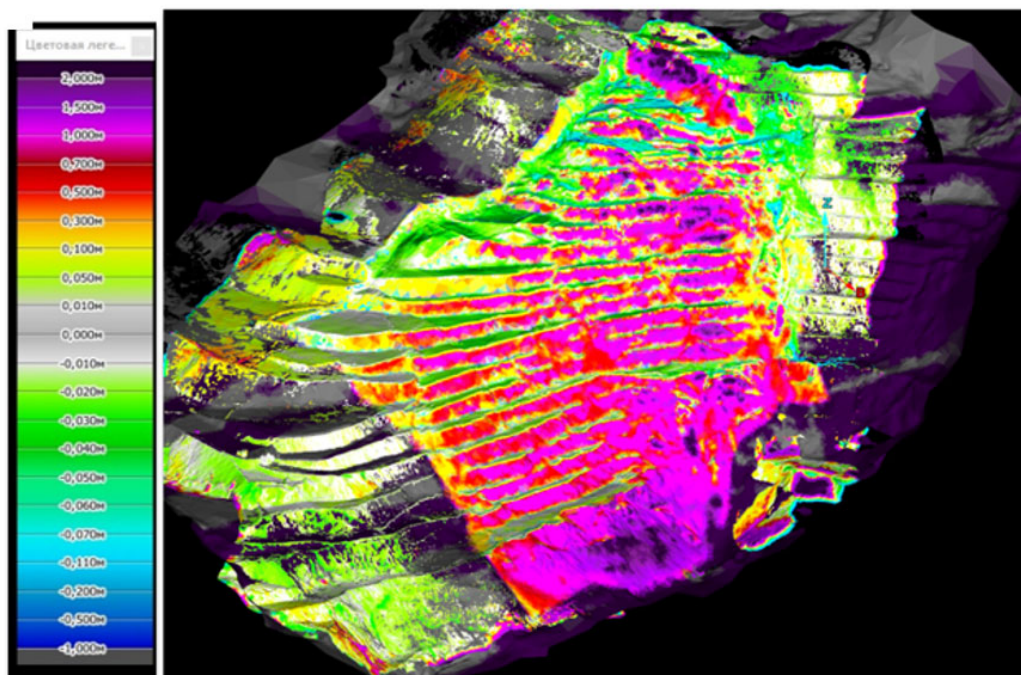
Атмосферные осадки оказали значимое влияние как на физический процесс дефор-

мации, так и на результаты радарных измерений. В период затяжных дождей (8–13 июля 2023 г.) с помощью радарного мониторинга был зафиксирован резкий скачок скоростей смещений до 300–480 мм/сутки по отдельным пикселям.

Для верификации того, что наблюдаемый скачок не является исключительно инструментальной погрешностью, были проанализированы данные лазерного сканирования, выполненные непосредственно после данного дождливого периода (14–15 июля). Построенные по этим данным разностные ЦММ (цифровые модели местности) подтвердили факт реальной активизации смещений: были зафиксированы новые осыпи объемом 3 500 и 3 900 м³ между горизонтами +400 и +510 м, а также увеличение абсолютных смещений на 15 % по сравнению с периодом, предшествующим осадкам (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Скачок скоростей развития деформации в период дождей:

а) интерферограмма сканирования радаром; б) верификация данными лазерного сканирования

Таким образом, скачок скоростей имел двойственную природу: с одной стороны, инфильтрация атмосферных вод в массив привела к снижению прочностных характеристик пород и реальной активизации деформационных процессов, с другой стороны, наличие водной пленки на поверхности породного массива внесло дополнительную составляющую в фазовый сдвиг радарного сигнала, что могло приводить к завышению измеряемых скоростей на 10–30 % в пиковые дни.

Физической причиной этого явления является изменение диэлектрической проницаемости поверхностного слоя породы и возникновение фазового сдвига, связанного с наличием водной пленки.

Массовые взрывы вызывали кратковременное увеличение скоростей смещений на 20–50 %. Для минимизации этого влияния объемы взрывных работ были ограничены 4 000–13 000 м³ для подходных блоков и 30 000 м³ для добычных.

Отключение радара на время взрывов создавало «слепые зоны» в данных [11–14]. Для решения этой проблемы был внедрен многочастотный анализ данных с использованием скользящих временных окон различной длительности (720, 180, 60, 30 минут). Это позволило оперативно выявлять тренды после возобновления сканирования.

Критерий обратной скорости (inverse velocity), широко применяемый для про-

гноза времени обрушения, показал свою неэффективность в условиях данной деформации. График обратной скорости имел прерывистый характер и не позволял построить

достоверный тренд (рис. 5). Это связано с комплексным характером деформации, включающим различные механизмы разрушения.



Рис. 5. График обратной скорости деформации

Данные лазерного сканирования использовались для построения 3D-каркасов деформации и фиксации абсолютных смещений [15]. На рис. 6 представлены сечения, демонстрирующие характер деформации: на верхних горизонтах наблюдалась просадка до 17 м, в то время как горизонтальные смещения достигали 10–12 м.

- накопительный принцип измерений радара, чувствительный к шумам и атмосферным эффектам [16];
- разная геометрия отражения сигнала от неровной поверхности борта;
- влияние изменяющейся влажности на фазовый сдвиг.

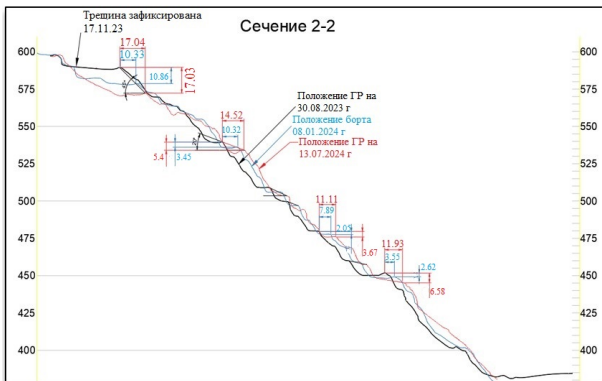


Рис. 6. Наблюдение за смещениями

Сравнение с радарными данными показало систематическое расхождение в величине накопленных смещений на 10–15 % (табл. 2). Вероятными причинами являются:

Таблица 2. Сравнение смещений, определенных разными методами

Участок	Смещение по радару, м	Смещение по лазерному сканеру Maptek, м	Расхождение, %
Северный	2,1	2,4	14,3
Центральный	3,1	3,5	12,9
Южный	2,8	3,1	10,7

На основе серии лазерных сканов была построена 3D-модель поверхности скольжения (рис. 7). Анализ показал, что деформация развивалась по сложной криволинейной поверхности, что характерно для откосов, сложенных разнородными породами.

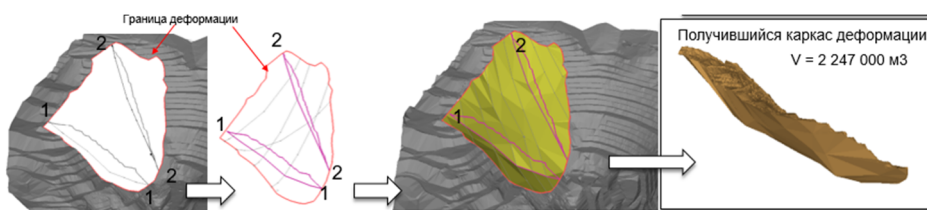


Рис. 7. Построение предполагаемой поверхности скольжения

Полученный каркас был экспортирован в специализированное программное обеспечение BlastMaker для расчета параметров раз-

вала. Прогнозируемый объем горной массы, вышедшей за контур карьера, составил 1 300 000 м³ (рис. 8).

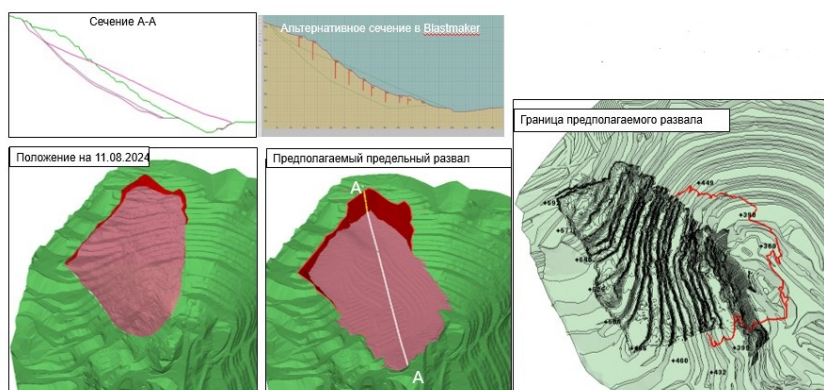


Рис. 8. Полученный объем и граница развала

Заключение

На примере карьера показана эффективность комплексного использования наземной радарной интерферометрии и лазерного сканирования для мониторинга крупномасштабных деформаций. Радар обеспечивает непрерывный контроль кинематики, а лазерное сканирование – высокоточную фиксацию абсолютных смещений и построение геометрической модели деформации.

Выявлено влияние внешних факторов на данные мониторинга: атмосферные осадки увеличивают измеряемые скорости на 30–100 %, а массовые взрывы – на 20–50 %. Это требует адаптации методики интерпретации и системы оповещения.

Проанализирована методика адаптивного мониторинга, включающая:

- многоуровневую систему оповещения с порогами, настроенными под конкретные условия;

- многочастотный анализ данных для компенсации перерывов в мониторинге;

- регулярную верификацию радарных данных лазерным сканированием.

Построение 3D-модели поверхности скольжения и прогноз развала объемом 1,3 млн м³ позволили обосновать управленческие решения и обеспечить безопасное ведение горных работ.

Критерий обратной скорости показал ограниченную применимость для прогноза времени обрушения в условиях сложной, многостадийной деформации.

Полученный практический опыт и выводы могут быть использованы при проектировании систем мониторинга и разработке мероприятий по обеспечению безопасности на других горнодобывающих предприятиях со сложными геомеханическими условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bellet P., Noon D., Leva D., Rivolta C. 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability. 2015. P. 1–14.
2. Cabrejo A., Bellett P., Stickley G., Silva R., Gunaris Y., Pérez J. Risk management and alarming based on a new atmospheric correction algorithm for ground-based radars. PM Dight (ed.), Slope Stability 2020: Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth. 2020. P. 319–338. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_17.

3. Caduff R., Schlunegger F., Kos F., Wiesmann A. A review of terrestrial radar interferometry for measuring surface change in the geosciences. *Earth surface processes and landforms*. 2014. P. 208–228. DOI 10.1002/esp.3656.
4. Dick G. J. Development of an early warning time-of-failure analysis methodology for open pit mine slopes utilizing the spatial distribution of ground-based radar monitoring data. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The University of British Columbia (Vancouver). 2013. 436 p. DOI 10.1139/cgi-2014-0028.
5. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. Real-time slope monitoring with ground-based SAR: analysis of the accuracy and reliability of the deformation measurements. *International Journal of Geophysics*. 2011. Vol. 2011. Article ID 808369. DOI 10.1155/2011/808369.
6. Intrieri E., Raspini F., Fumagalli A., Lu P., Del Conte S., Farina P., Casagli N. The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides*. 2018. Vol. 15. P. 123–133. DOI 10.1007/s10346-017-0915-7.
7. Luzi G., Monserrat O., Crosetto M., Copons R., Altimir J. The Use of Ground-Based Radar for Landslide Monitoring and Early Warning: The Tosa d'Alp Case Study (Pyrenees, Spain). *Geosciences*. 2019. Vol. 9(7). P. 303. DOI 10.3390/geosciences9070303.
8. Macqueen G. K., Salas E. L., Hutchison B. J. Application of radar monitoring at Savage River Mine, Tasmania. *Slope Stability*. 2013. P. 1011–1020. DOI 10.36487/ACG_rep/1308_70_Macqueen.
9. Niekrasz J., Banda S., Rinne M. Review of radar system performance and estimation of slope deformation threshold values for the Levcaniemi open pit. School of Engineering. Master's thesis. 2018. P. 90.
10. Powell CL., Brockhurst N. Case study: rockfall assessment and mitigation at the Newmont Boddington Gold mine. *SSIM 2022*. Australian Centre for Geomechanics Perth. P. 475–484. DOI 10.36487/ACG_repo/2135_30.
11. Shellam R., Coggan J. Analysis of velocity and acceleration trends using slope stability radar to identify failure signatures to better inform deformation trigger action response plans. *Slope Stability 2020*. Australian Centre for Geomechanics Perth 2020. P. 227–240. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_10.
12. Бурцев С. В., Рыбак Л. В. Радиолокационные системы контроля устойчивости бортов на разрезе «Черниговец». *Известия ТулГУ. Науки о земле*. 2018. Вып. 1. С. 203–209. EDN YTFXBX.
13. Исмагилов Р. И., Захаров А. Г., Бадтиев Б. П., Сенин Н. В., Павлович А. А., Свириденко А. С. Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства кругонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева. *Горная промышленность*. 2020. № 3. С. 84–90. DOI 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90. EDN GDBNKL.
14. Канаев Э. Д., Брагин А. А. Результаты натурных испытаний геотехнического радара в условиях Сибири. *Глобус. Геология и бизнес [Электронный ресурс]*. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnika/oborudovanie/rezultaty-naturnyh-ispytanij-geotekhnicheskogo-radara-v-usloviyah-sibiri-23015/>.
15. Розанов И. Ю., Ковалев Д. А. Результаты анализа данных радарной системы мониторинга устойчивости борта карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 12-1. С. 122–133. DOI 10.25018/0236_1493_2022_121_0_122. EDN JRSFEN.
16. Шаворин В. А., Горилько А. С. Исследование точности систем измерения сдвигов бортов на примере 3D радара Groundprobe SSR-XT. *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с междунар. участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»*. Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. С. 144–151. DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-1-144-151. EDN EBKNAJ.

REFERENCES

1. Bellet P., Noon D., Leva D., Rivolta C. (2015). 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring // *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability* [Yuzhno-Afrikanskiy institut gornogo dela i metallurgii. Ustoychivost' otkosov]. P. 1–14.
2. Cabrejo A., Bellett P., Stickley G., Silva R., Gunaris Y., Pérez J. (2020). Risk management and alarming based on a new atmospheric correction algorithm for ground-based radars // *PM Dight (ed.), Slope Stability 2020: Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth* [Trudy 2020 Mezhdunarodnogo simpoziuma po ustoychivosti otkosov na otkrytykh gornykh rabotakh i v grazhdanskom stroitel'stve, Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki, Perth]. P. 319–338. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_17.
3. Caduff R., Schlunegger F., Kos F., Wiesmann A. (2014). A review of terrestrial radar interferometry for measuring surface change in the geosciences. *Earth surface processes and landforms* [Protsessy poverkhnosti i landshafty Zemli]. P. 208–228. DOI 10.1002/esp.3656.
4. Dick G. J. (2013). Development of an early warning time-of-failure analysis methodology for open pit mine slopes utilizing the spatial distribution of ground-based radar monitoring data. *A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The University of British Columbia (Vancouver)* [Dissertatsiya na soiskaniye stepeni magistra prikladnykh nauk. Universitet Britanskoy Kolumbii (Vankuver)]. 436 p. DOI 10.1139/cgi-2014-0028.
5. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. (2011). Real-time slope monitoring with ground-based SAR: analysis of the accuracy and reliability of the deformation measurements. *International Journal of Geophysics* [Mezhdunarodnyy zhurnal geofiziki]. Vol. 2011. Article ID 808369. DOI 10.1155/2011/808369.
6. Intrieri E., Raspini F., Fumagalli A., Lu P., Del Conte S., Farina P., Casagli N. (2018). The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides* [Opolzni]. Vol. 15. P. 123–133. DOI 10.1007/s10346-017-0915-7.
7. Luzi G., Monserrat O., Crosetto M., Copons R., Altimir J. (2019). The Use of Ground-Based Radar for Landslide Monitoring and Early Warning: The Tosa d'Alp Case Study (Pyrenees, Spain). *Geosciences* [Nauki o Zemle]. Vol. 9(7). P. 303. DOI 10.3390/geosciences9070303.
8. Macqueen G. K., Salas E. L., Hutchison B. J. (2013). Application of radar monitoring at Savage River Mine, Tasmania. *Slope Stability* [Ustoychivost' otkosov]. P. 1011–1020. DOI 10.36487/ACG_rep/1308_70_Macqueen.
9. Niekrasz J., Banda S., Rinne M. (2018). Review of radar system performance and estimation of slope deformation threshold values for the Levcaniemi open pit. School of Engineering. *Master's thesis* [Magisterskaya dissertatsiya]. P. 90.
10. Powell C. L., Brockhurst N. (2022). Case study: rockfall assessment and mitigation at the Newmont Boddington Gold mine. *SSIM 2022. Australian Centre for Geomechanics Perth* [Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki – Perth]. P. 475–484. DOI 10.36487/ACG_repo/2135_30.
11. Shellam R., Coggan J. (2020). Analysis of velocity and acceleration trends using slope stability radar to identify failure signatures to better inform deformation trigger action response plans. *Slope Stability 2020. Australian Centre for Geomechanics – Perth* [Avstraliyskiy tsentr geomekhaniki – Perth]. P. 227–240. DOI 10.36487/ACG_repo/2025_10.
12. Burtsev S. V., Rybak L. V. (2018). Radar systems for slope stability control at the "Chernigovets" open-pit mine. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences]. Vol. 1. P. 203–209. EDN YTFXBX [in Russian].
13. Ismagilov R. I., Zakharov A. G., Badtiev B. P., Senin N. V., Pavlovich A. A., Sviridenko A. S. (2020). Use (testing experience) of ground-penetrating radar at the construction site of the circumferential inclined conveyor complex at the southern quarry of the Mikhailovsky GOK named after A.V. Varichev. *Gornaya Promyshlennost'* [Mining Industry]. No. 3. P. 84–90. DOI 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90. EDN GDBNKL [in Russian].

14. Kanaev E. D., Bragin A. A. Results of field tests of a geotechnical radar in Siberian conditions. *Elektronnyi zhurnal «Globus. Geologiya i biznes» [Electronic Journal "Globus. Geology and Business"]*. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnika/oborudovanie/rezultaty-naturnyh-ispytaniy-geotekhnicheskogo-radara-v-usloviyah-sibiri-23015/> [in Russian].

15. Rozanov I. Yu., Kovalev D. A. (2022). Results of analysis of radar monitoring system data for the slope stability of the "Zhelezny" quarry of JSC "Kovdorsky GOK" *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Gorny Informatsionno-Analitichesky Bulletin]*. No. 12-1. P. 122–133. DOI 10.25018/0236_1493_2022_121_0_122 EDN JRSFEN [in Russian].

16. Shavorin V. A., Gorilko A. S. (2020). Study of the accuracy of slope displacement measurement systems using the example of the Groundprobe SSR-XT 3D radar. *Interexpo GEO-Sibir'. XVI Mezhdunar. nauch. kongr., 18 June – 8 July 2020, Novosibirsk : sb. materialov v 8 t. T. 1 : Natsional'naya nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheideriya» [Interexpo GEO-Siberia. XVI International Scientific Congress, 18 June – 8 July 2020, Novosibirsk: Collection of Materials in 8 Volumes. Vol. 1: National Scientific Conference with International Participation "Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying"]*. – Novosibirsk : SGUGiT, No. 1. P. 144–151. DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-1-144-151. – EDN EBKNAJ [in Russian].

Об авторах

Иван Тимофеевич Андреев – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Authors details

Ivan T. Andreev – PhD Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Получено / Received 05.11.2025

Поступила после рецензирования / Revised 14.01.2026

Принята к публикации / Accepted 27.02.2026