

УДК [528.48:627.824.31]+[528.721.221.6:528.8.042]  
DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-31-40

## Особенности обработки и анализа результатов наземного лазерного сканирования при геодезическом мониторинге земляных дамб

А. А. Шоломицкий<sup>1</sup>✉, Р. Р. Ханнанов<sup>1</sup>, Е. А. Олейникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: sholomitskij@mail.ru

**Аннотация.** В статье описана методика обработки результатов наземного лазерного сканирования (НЛС) разных циклов измерений. Данная методика произведена в рамках проекта геодезического мониторинга за земляной дамбой золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» (Казахстан). Камеральная обработка результатов НЛС основана на сравнительном анализе цифровых поверхностей, полученных по точкам лазерных отражений. Фильтрация выполнялась в программном обеспечении TerraSolid методом молдинга, что позволяет выполнить сравнительный анализ поверхностей, в результате которого были созданы поверхности отклонений. Предложен метод сравнения однородных участков гравийных поверхностей, показавший отсутствие деформаций поверхности дамбы, на которых не выполнялись горнотехнические работы. По результатам проведенных исследований следует, что методика сравнительного анализа поверхностей тела дамбы, построенных по результатам НЛС, является рабочим инструментом для определения деформационных процессов, возникающих в теле дамбы.

**Ключевые слова:** дамба, наземное лазерное сканирование, сравнительный анализ, фильтрация точек, цифровая поверхность, деформация, цветовое кодирование, метод молдинга, однородная область

### Введение

Систематические инструментальные наблюдения за состоянием насыпных гидротехнических сооружений представляют собой основной метод их обследования с высокой практической и научной ценностью. Полученные результаты являются важным исходным материалом для оценки состояния откосов дамб, изучения деформационных процессов и прогнозирования аварийных ситуаций. Они также служат основой для разработки рекомендаций по повышению надежности эксплуатации гидротехнических сооружений [1–3].

Технология наземного лазерного сканирования применяется в различных областях [4–8] и позволяет перейти от точечных методов геодезических измерений к площадным [9]. Это значительно увеличивает объем получаемой информации и обеспечивает наиболее полное и наглядное представление о распределении деформаций по поверхности ис-

следуемого объекта. Особенно важно применение наземного лазерного сканирования при наблюдении за дамбами или их участками, когда активные деформации мешают использованию обычных методов наблюдений из-за отсутствия безопасного доступа к исследуемому участку.

Суть этой технологии заключается в том, что она позволяет выполнить тотальную съемку поверхности объекта вместо дискретного измерения его отдельных точек, как это делается при использовании электронного тахеометра или нивелира на профильных линиях. Наземное лазерное сканирование создает трехмерное изображение объекта, известное как «скан» или «облако точек». Результаты наземного лазерного сканирования представлены в виде массива точек, которые находятся в поле зрения сканера и имеют пять характеристик: пространственные координаты ( $X, Y, Z$ ), интенсивность отражения и реальный цвет сканируемых объектов.

Для контроля устойчивости ограждающей дамбы золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» была использована наземная лазерная сканирующая система Leica ScanStation 2. Эта система способна выполнять сканирование в радиусе 300 м и имеет максимальную погрешность измерения расстояний не более 6 мм. Результатом наземного лазерного сканирования явля-

ется массив точек, который может включать от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов точек, формирующих облако точек лазерных отражений (ТЛО) (рис. 1).

В рамках исследования возможности геодезического мониторинга за земляной дамбой методом лазерного сканирования было проведено 3 цикла сканирования одного и того же участка дамбы гидротехнического сооружения.

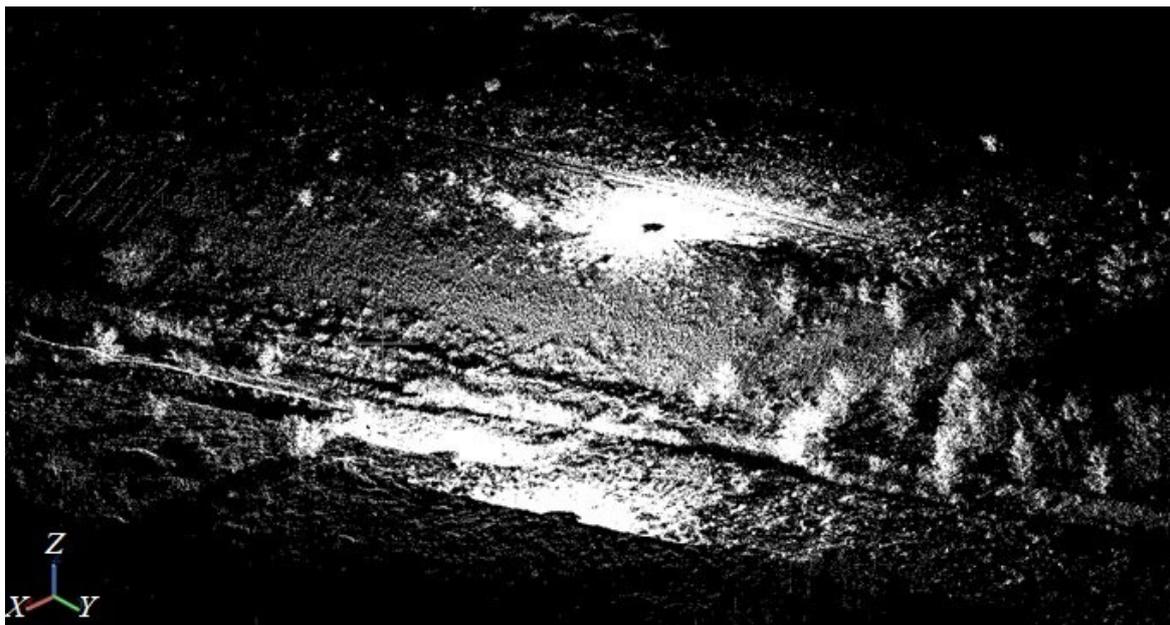


Рис. 1. Облако ТЛО одной станции сканирования

После проведения полевых работ производилась камеральная обработка полученных результатов, которая заключалась в построении поверхности участка дамбы на разные даты съемки в одной системе координат. Это сравнение выполнялось в программном комплексе TerraSolid, который позволяет анализировать разность триангуляционных (TIN) и сеточных (DEM) поверхностей. Такой подход позволяет сравнить поверхности и определить наличие деформационных процессов в теле ограждающей дамбы [10].

### **Материалы и методы**

Первым этапом обработки стало импортирование точек в рабочую среду программного комплекса TerraSolid.

Если провести анализ ТЛО, то сразу можно выделить объекты, которые будут со-

здавать помехи при сравнительном анализе облаков точек из разных циклов наблюдений (рис. 2); основной помехой для сканирования исследуемого объекта является кустарниковая и травянистая растительность. Поэтому необходимо отфильтровать облака ТЛО для всех циклов наблюдений, чтобы удалить точки растительности и оставить только точки, относящиеся к поверхности дамбы № 1 для последующего исследования. Для решения этой задачи используются функциональные возможности модуля TerraScan, который позволяет классифицировать поверхность дамбы, отделяя ее от других точек, таких как деревья, кустарники, небольшие растения, столбы, ЛЭП и т. д. [11–13], которые в рамках решаемой задачи являются шумом.

В процессе классификации и сравнительного анализа использован автоматический метод классификации точек. Автома-

тическая классификация ТЛО в данном программном комплексе основана на методе молдинга, работающего на следующих принципах [14–17]:

– представление данных в виде сети треугольников;

– построение поверхности земли с использованием итераций и постоянного контроля сходимости;

– применение аналитических ограничений, которые отражают гладкость поверхности «истинной земли».

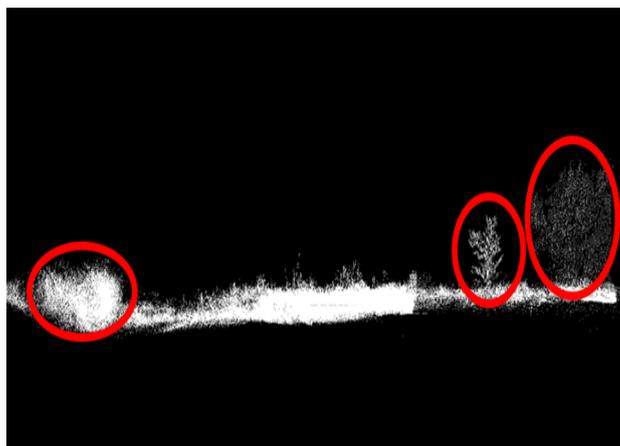


Рис. 2. Облако ТЛО с растительностью

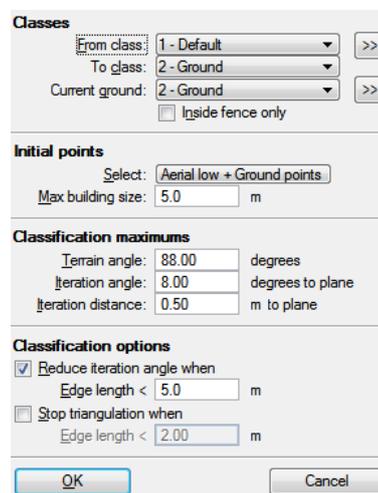
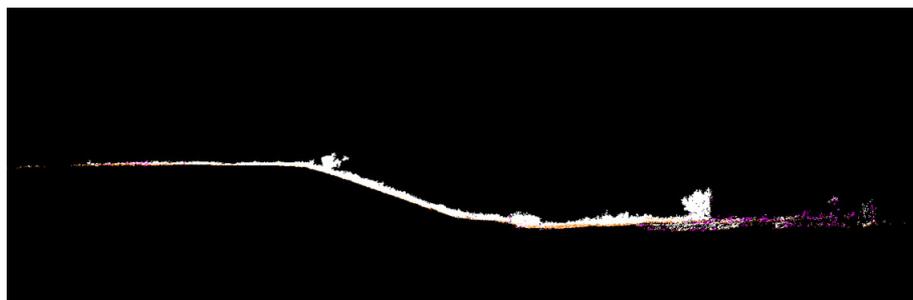


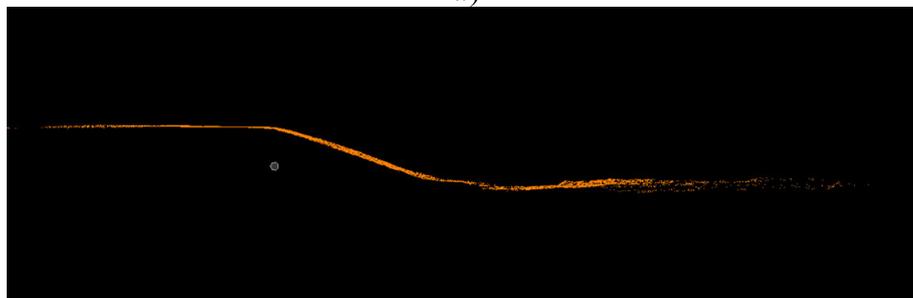
Рис. 3. Классификация объектов

Был выполнен подбор эффективных параметров классификации ТЛО (рис. 3), которые разделили ТЛО на две группы: точки, принадлежащие земле (поверхности дамбы), и точки, относящиеся к другим объектам.

Рис. 4 демонстрирует результаты до (рис. 4, а) и после процесса фильтрации (рис. 4, б).



а)



б)

Рис. 4. Результаты фильтрации ТЛО:

а) до фильтрации (классификации точек) – облако ТЛО с растительностью; б) после фильтрации (классификации точек) – поверхность дамбы

После фильтрации точек производится следующий этап анализа, который включает в себя сравнение точек поверхности дамбы между разными циклами сканирования.

### Результаты анализа поверхностей

После создания цифровых сеточных поверхностей сравнивались поверхности для первого и второго циклов, второго и третьего циклов, а также первого и третьего циклов сканирования (рис. 5, а, б, в). На этих поверхностях можно выделить однородные области (область 1 на рис. 5, в) и области с неоднородными разностями поверхностей, например, область 2 на рис. 5, в.

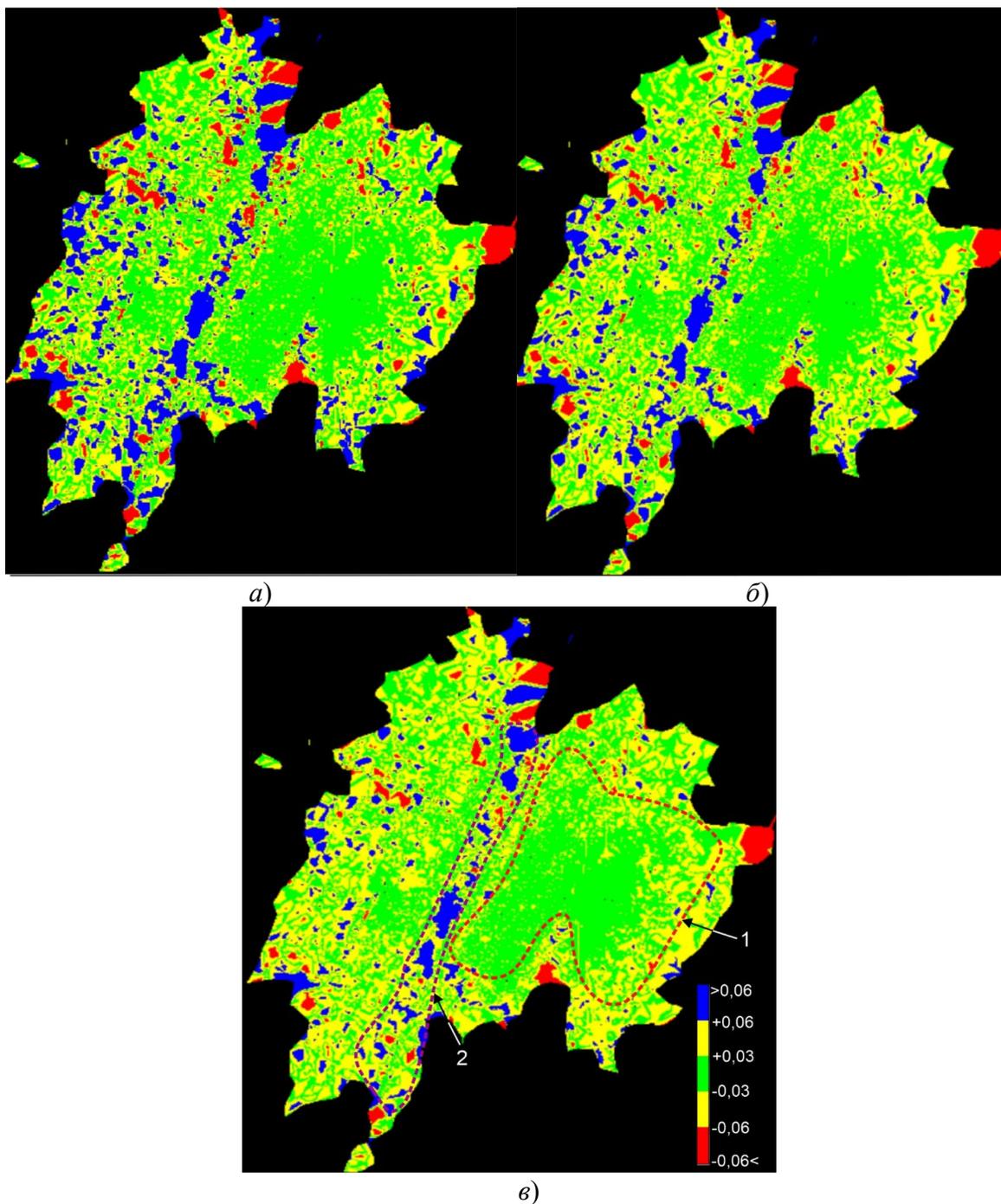


Рис. 5. Поверхности отклонений:  
а) 1–3-й циклы; б) 2–3-й циклы; в) 1–2-й циклы

Вторая область (рис. 5, в) соответствует дренажной канаве, в которой проводились работы по очистке и частично обваловке. Поверхность отклонений представляет их себя сеточную модель (DEM) (рис. 6), в узлах которой находится разница отметок в этих узлах.

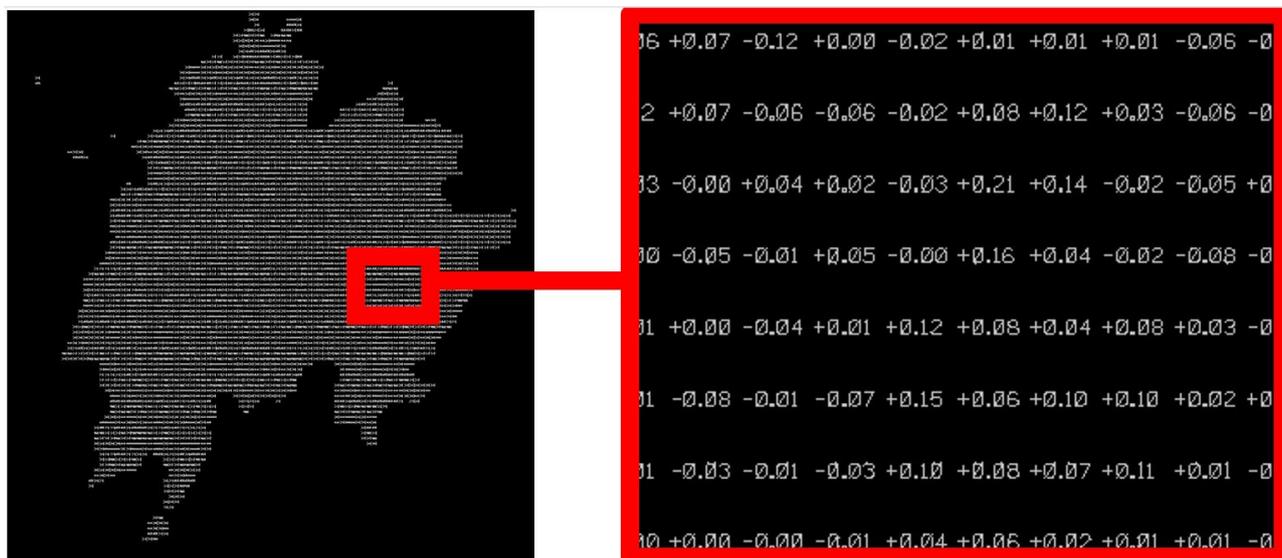


Рис. 6. Отклонения сравниваемых поверхностей

Эти сеточные поверхности можно анализировать с помощью методов математической статистики.

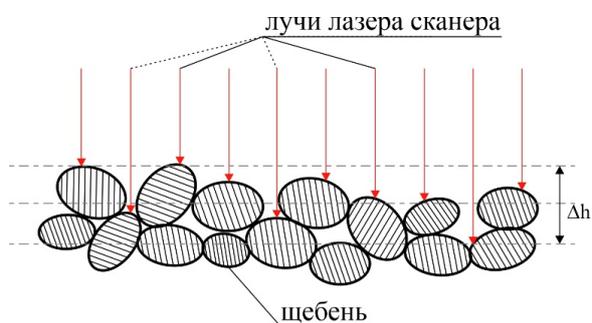
### Анализ деформационных процессов

Выявленные площадные деформации превышают допуски на точность измерений для контрольных точек грунтовых сооружений IV категории –  $\pm 15$  мм в плане и  $\pm 10$  мм по высоте [18]. Здесь нужно иметь в виду, что опре-

деление деформаций методом лазерного сканирования эффективно на гладких обработанных поверхностях [19, 20]. Поверхность земляной дамбы представляет собой насыпную поверхность из щебня (рис. 7, а) по которой «пробегает» луч лазера сканера. При каждом сканировании луч лазера попадает в разные точки поверхности (рис. 7, б), поэтому прямое сравнение поверхностей всегда будет иметь отклонения, которые связаны с размером кусков материала тела дамбы.



а)



б)

Рис. 7. Поверхность и ее сечение лазерным лучом:  
а) поверхность дамбы; б) сечение поверхности дамбы

В механике есть понятие «шероховатость поверхности» [21], которое характеризует мик-

роформы рельефа поверхности. Наиболее значимыми критериями шероховатости являются

$R_{\max}$  – максимальная высота профиля поверхности и  $R_a$  – среднее арифметическое значение отклонения профиля. Для поверхностей с более крупными формами рельефа, такими как поверхности земляных дамб, вводится понятие «гранулометрический состав» [22], который определяет размер частиц и их процентное содержание в теле дамбы. При достаточно большом числе одинаковых кусков и большом числе измерений  $R_{\max} = \Delta h$  (см. рис. 7, б). Для дамбы № 1, которая является объектом исследования, средний размер кусков равен 60 мм. Разность двух сканов одной и той же поверхно-

сти должна давать случайную «мелкосопочную» поверхность с разбросом значений  $\pm \frac{\Delta h}{2} = \pm 30$  мм, а среднее арифметическое отклонение поверхностей  $R_a$  должно стремиться к нулю. Это свидетельствует о том, что деформаций такой поверхности не было. Это утверждение подтверждается статистикой разностей поверхностей между разными датами съемки (таблица и рис. 8). Область 1 – это однородный по отклонениям участок откоса дамбы, на котором не производились работы в данный период (см. рис. 5, в).

Отклонения поверхностей участка сканирования

Съемки	Область	Среднее арифметическое, мм	Среднее медианное, мм
1 – 2	Весь участок	28	10
	Область 1	-1	0
2 – 3	Весь участок	25	8
	Область 1	3	1
1 – 3	Весь участок	27	12
	Область 1	3	3

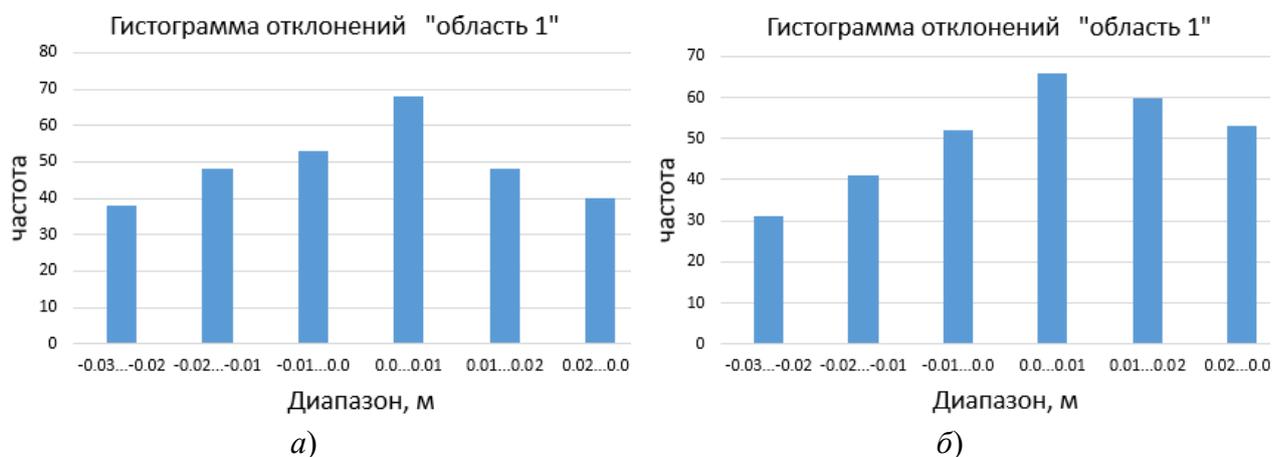


Рис. 8. Гистограмма разностей поверхностей в «области 1»: а) поверхности 2-3; б) поверхности 1-3

Распределение отклонений на участке «область 1» является однородным с наибольшим количеством точек в диапазоне  $\pm 10$  мм. Если проанализировать средние отклонения поверхностей по всей поверхности и однородному участку «область 1», можно сделать выводы о том, что средние отклонения для всего участка больше, чем для однородной области, что связано с проведением горнотех-

нических работ и работ по очистке дренажной канавы. Если анализировать однородную «область 1» откоса дамбы, на которой работы не проводились (см. таблицу), то по значению среднего арифметического, которое в данном случае коррелирует с медианным средним, можно судить о наличии деформационных процессов. Если среднее отклонение между двумя поверхностями по участку (однород-

ной области) меньше допуска на точность определения превышений точек грунтовых сооружений IV категории [18]  $\pm 10$  мм, то деформационных процессов в теле дамбы нет.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

С помощью метода молдинга в облаке ТЛЮ можно классифицировать точки поверхности земли и отделить их от растительности и таким образом получить «чистую» поверхность дамбы.

Сравнение щебеночных поверхностей на две даты необходимо проводить в два этапа. На первом этапе выполнить формальную

классификацию отклонений по 5 или 7 диапазонам для выявления однородных по отклонениям областей, связывая их с гранулометрическим составом объекта. Затем анализируются средние отклонения в каждой однородной области и делается вывод о наличии и величине деформаций.

Если разности поверхностей содержат участки с закономерно увеличивающимися областями, это однозначно свидетельствует о деформационных процессах в теле дамбы или проведении горнотехнических работ. Но эти области разделить достаточно просто: по нарядам на выполнение работ на этих участках.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шоломицкий А. А., Хмырова Е. Н., Ханнанов Р. Р. Мониторинг состояния плотины Шерубай-Нурина водохранилища // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 1, № 1. – С. 265–271.
2. Chen S., Gu C., Lin C., Wang Y., Hariri-Ardebili M. A. Prediction, monitoring, and interpretation of dam leakage flow via adaptive kernel extreme learning machine // Measurement. – 2020. – Vol. 166(2020). – P. 108161. – DOI 10.1016/j.measurement.2020.108161.
3. Афонин Д. А., Богомоллова Н. Н., Брынь М. Я., Никитчин А. А. Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. № 4. – С. 2–8.
4. Шульц Р. В. Наземное лазерное сканирование в задачах инженерной геодезии. – Кишинев : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 348 с.
5. Ямбаев Х. К., Горохова Е. И. Мониторинг деформаций тоннелей методом наземного лазерного сканирования // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № S/4. – С. 7–12.
6. Ханнанов Р. Р. Определения деформаций насыпных дамб по результатам наземного лазерного сканирования // Естественные и технические науки. – 2023. – № 7 (182). – С. 92–95.
7. Ханнанов Р. Р., Михнев А. В., Кулакова Е. П. Проведение геодезических измерений на объектах Топарской ГРЭС // Труды университета КарТУ. – 2020. – № 3 (80). – С. 75–79.
8. Жуков Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 356 с.
9. Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование. – Новосибирск : СГУГиТ, 2009. – 261 с.
10. Алтынцев М. А. Информационные технологии. Создание топографических планов в ПК Microstation. В 2 ч. Ч. 2: лабораторный практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 86 с.
11. Алтынцев М. А., Каркокли Х. М. С. Методика автоматизированной фильтрации данных мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 5–19.
12. Вальков В. А., Виноградов К. П., Валькова Е. О., Мустафин М. Г. Создание растров высокой информативности по данным лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Геодезия и картография. – 2022. – Т. 83, № 11. – С. 40–49.
13. Аль Фатин Х. Д., Мустафин М. Г. Методика оценки деформаций водоподпорных плотин // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 45–56.
14. Аврунев Е. И., Гатина Н. В., Козина М. В. Разработка принципов для 3D-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры территориального образования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 107–115.

15. Канашин Н. В., Виноградов К. П., Степанов Д. И. Оценка возможности применения современных наземных лазерных сканеров для топографической съемки // Извест. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 34–37.
16. Крутиков Д. В. Опыт применения технологии наземного лазерного сканирования в решении инженерных и геодезических задач // Геодезия и картография. – 2015. – № 2/с. – С. 29–31.
17. Тихая Н. Создание «интеллектуальной» 3D-модели действующей электроподстанции на основе данных наземного лазерного сканирования // САПР и графика. – 2011. – № 4 (174). – С. 28–30.
18. ГОСТ 24846–2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Введ. 2021–01–01. – М. : Стандартиформ, 2020. – 18 с.
19. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Использование лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 43–57.
20. Шульц Р. Преимущества и недостатки различных методов сшивки лазерных сканов // Науч. тр. Донецкого нац. техн. ун-та. Сер. Горно-геологическая. – 2009. – Вып. 9 (143). – С. 140–145.
21. ГОСТ Р 70117–2022. Шероховатость поверхности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78008/>.
22. ГОСТ 25100–2011. ГРУНТЫ. Классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sground.ru/wp-content/uploads/2018/05/GOST-25100-2011.pdf>.

### Об авторах

*Андрей Аркадьевич Шоломицкий* – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

*Рустем Рашитович Ханнанов* – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

*Елена Алексеевна Олейникова* – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 17.12.2023

© А. А. Шоломицкий, Р. Р. Ханнанов, Е. А. Олейникова, 2024

### Features of processing and analysis of the results of terrestrial laser scanning during geodetic monitoring of earth dams

*A. A. Sholomitskii<sup>1</sup>*, *R. R. Khannanov<sup>1</sup>*, *E. A. Oleinikova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: sholomitskij@mail.ru

**Abstract.** The article describes a technique for processing the results of terrestrial laser scanning of different measurement cycles. This technique was carried out within the framework of the geodetic monitoring project for the earthen ash dump dam of the Main Distribution Power Station Topar LLP (Kazakhstan). Office processing of TLS results is based on a comparative analysis of digital surfaces obtained from laser reflection points. Filtering was carried out in TerraSolid software, using the molding method, which allows for comparative analysis of surfaces, as a result of which deviation surfaces were created. A method was proposed for comparing homogeneous sections of gravel surfaces, which showed the absence of deformations of the dam surface on which mining work was not carried out.

Based on the results of the conducted research, it follows that the method of comparative analysis of the surfaces of the dam body, based on the results of TLS, is a working tool for determining the deformation processes occurring in the dam body.

**Keywords:** dam, ground laser scanning, comparative analysis, point filtering, digital surface, deformation, color coding, molding method, uniform area

## REFERENCES

1. Sholomitsky, A. A., Khmyrova, E. N., & Khannanov, R. R. (2019). Monitoring the condition of the Sherubai-Nura Reservoir dam. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, no. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 265–271). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
2. Chen, S., Gu, C., Lin, C., Wang, Y., & Hariri-Ardebili, M. A. (2020). Prediction, monitoring, and interpretation of dam leakage flow via adaptive kernel extreme learning machine. *Measurement*, 166(2020), P. 108161. DOI 10.1016/j.measurement.2020.108161.
3. Afonin, D. A., Bogomolova, N. N., Bryn, M. Ya., & Nikitchin, A. A. (2020). Experience in using terrestrial laser scanning in the inspection of engineering structures. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 81(4), 2–8 [in Russian].
4. Schultz, R. V. (2013). *Nazemnoye lazernoye skanirovaniye v zadachakh inzhenernoy geodezii [Terrestrial laser scanning in engineering geodesy problems]*. Kishinev: Palmarium Academic Publ., 348 p. [in Russian].
5. Yambaev, Kh. K., & Gorokhova, E. I. (2014). Monitoring of tunnel deformations using terrestrial laser scanning. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, S/4, 7–12 [in Russian].
6. Khannanov, R. R. (2023). Determination of deformations of embankment dams based on the results of terrestrial laser scanning. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]*, 7(182), 92–95 [in Russian].
7. Khannanov, R. R., Mikhnev, A. V., & Kulakova, E. P. (2020). Carrying out geodetic measurements at the facilities of the Topar State District Power Plant. *Trudy universiteta KarTU [Proceedings of the KarTU University]*, 3(80), 75–79 [in Russian].
8. Zhukov, B. N. (2003). *Geodezicheskiy kontrol' sooruzheniy i oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy [Geodetic control of structures and equipment of industrial enterprises]*. Novosibirsk: SSGA, 356 p. [in Russian].
9. Seredovich, V. A., Komissarov, A. V., Komissarov, D. V., & Shirokova, T. A. (2009). *Nazemnoye lazernoye skanirovaniye [Terrestrial laser scanning]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 261 p. [in Russian].
10. Altyntsev, M. A. (2016). *Informatsionnyye tekhnologii. Sozdaniye topograficheskikh planov v PK Microstation: Ch. 2, Laboratornyy praktikum [Information technologies. Creating topographic plans in a Microstation: Part 2, Laboratory workshop]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 86 p. [in Russian].
11. Altyntsev, M. A., & Karkokli, H. M. S. (2021). Methodology for automated filtering of mobile laser scanning data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(3), 5–19 [in Russian].
12. Valkov, V. A., Vinogradov, K. P., Valkova, E. O., & Mustafin, M. G. (2022). Creation of highly informative rasters based on laser scanning and aerial photography data. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 83(11), 40–49 [in Russian].
13. Al Fatin, H. D., & Mustafin, M. G. (2021). Methodology for assessing deformations of water-retaining dams. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(1), 45–56 [in Russian].
14. Avrunev, E. I., Gatina, N. V., & Kozina, M. V. (2022). Development of principles for 3D modeling of linear structures and engineering infrastructure of a territorial entity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 107–115 [in Russian].

15. Kanashin, N. V., Vinogradov, K. P., & Stepanov, D. I. (2014). Assessment of the possibility of using modern terrestrial laser scanners for topographic surveys. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 1, 34–37 [in Russian].
16. Krutikov, D. V. (2015). Experience in using terrestrial laser scanning technology in solving engineering and geodetic problems. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, Special Issue 2, 29–31 [in Russian].
17. Tikhaya, N. (2011). Creation of an "intelligent" 3D model of an operating electrical substation based on terrestrial laser scanning data. *CAD and Graphics*, 4(174), 28–30 [in Russian].
18. Standards Russian Federation. (2020). GOST 24846-2019. Soils Methods for measuring deformations of the foundations of buildings and structures. Moscow: Standardinform, 18 p. Retrieved from <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293719/4293719761.pdf> [in Russian].
19. Sholomitsky, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2018). Using laser scanning for monitoring long-span structures. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 43–57 [in Russian].
20. Schultz, R. (2009). Advantages and disadvantages of various methods for stitching laser scans. *Nauchnye trudy Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Gorno-geologicheskaya [Scientific Works of the Donetsk National Technical University. Mining and Geological Series]*, 9(143), 140–145 [in Russian].
21. Standards Russian Federation. GOST R 70117-2022. Surface roughness. Retrieved from <https://internet-law.ru/gosts/gost/78008/> [in Russian].
22. Standards Russian Federation. GOST 25100-2011. SOILS. Classification. Retrieved from <https://sground.ru/wp-content/uploads/2018/05/GOST-25100-2011.pdf> [in Russian].

#### Authors details

*Andrey A. Sholomitskii* – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

*Rustem R. Khannanov* – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Surveying.

*Elena A. Oleynikova* – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Surveying.

Received 17.12.2023

© A. A. Sholomitskii, R. R. Khannanov, E. A. Oleynikova, 2024