

## МЕТОДИКА МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА СКЛОНОВОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

А.Н. Шабаров<sup>1</sup>, А.А. Кузин<sup>1</sup>, В.Г. Филиппов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: s225015@stud.spmi.ru

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы совершенствования методики выполнения маркшейдерско-геодезических наблюдений за оползневыми смещениями, которая состоит из трех этапов – наблюдения опорных реперов технологией спутникового позиционирования в режиме «статика», наблюдения рабочих реперов в теле оползня технологией Real-Time Kinematic и прогнозирования величин оползневых смещений. Разработан алгоритм оценки стабильности опорных реперов, основанный на аппроксимации плановых координат и высот реперов плоскостью. Плановые координаты и высоты рабочих реперов предложено определять технологией Real-Time Kinematic с увеличенным до 3 мин периода наблюдений и установкой приемника в режиме базовой станции на наиболее надежный в ходе оценки стабильности опорный репер. Прогнозирование величин оползневых смещений предполагается осуществлять по линейной функции, полученной в ходе аппроксимации величин смещений, с ее дальнейшей корректировкой при изменении скорости оползневых смещений. Предложенная методика была апробирована при наблюдениях за смещениями оползневого склона левого берега р. Тосны, протекающей вблизи г. Никольское Ленинградской области. Закреплены опорные и рабочие реперы, определены их плановые координаты и высоты спутниковыми методами в режимах «статика» и технологией Real-Time Kinematic в течение 4 циклов наблюдений с 15.07.2023 г. по 28.07.2024 г. Недоступные для сигналов зоны оползня наблюдались линейно-угловыми измерениями с определением положения станции тахеометра обратной засечкой относительно временных опорных реперов. По результатам наблюдений выполнен прогноз, позволивший в отдельных циклах повысить его качество на основе предлагаемой методики.

**Ключевые слова:** склоновая система, оползневый процесс, смещения, технология спутникового позиционирования, Real-Time Kinematic, прогнозирование, линейная функция.

**Для цитирования:** Шабаров А. Н., Кузин А. А., Филиппов В. Г. Методика маркшейдерско-геодезических наблюдений оползневого процесса склоновой системы на основе данных спутниковых определений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 2. – С. 130–144. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_2\_0\_130.

### Surveying procedure for slope landslide using satellite-based measurements

A.N. Shabarov<sup>1</sup>, A.A. Kuzin<sup>1</sup>, V.G. Filippov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,  
Saint Petersburg, Russia, e-mail: s225015@stud.spmi.ru

---

**Abstract:** The article discusses improvement of a surveying procedure for landslides. The procedure includes 3 stages—static observations of reference points using satellite navigation technology; observations of operating points inside the body of landslide using Real-Time Kinematic technology; prediction of landslide displacements. The estimation algorithm is developed for the stability of reference points using approximation of planimetric coordinates and heights of reference points by a plane. It is proposed to determine the planimetric coordinates and heights of operating points using Real-Time Kinematic technology, with an increased period of observations up to 3 min, and with setting a basic receiver toward the most reliable reference point. Prediction of values of landslide displacement can use a linear function obtained in approximation of the displacement values with the further adjustment when the landslide velocity changes. The proposed procedure was tested in slope landslide observations on the left-hand bank of the Tosna river in the neighborhood of the Nikolskoe town in the Leningrad Region. The reference and operating points were installed and fixed; their planimetric coordinates and heights were determined using the satellite methods in the mode of statics and using Real-Time Kinematic technology during 4 cycles of observations from July 15, 2023 to July 28, 2024. The signal-inaccessible zones of the landslide were overseen using linear and angular measurements, with position determination of the tachometer station via three-point intersection relative to the operating points. Prediction on the basis of the observation results made it possible to improve the surveying quality using the proposed procedure.

**Key words:** slope system, landslide process, displacement, satellite positioning, Real-Time Kinematic, prediction, linear function.

**For citation:** Shabarov A. N., Kuzin A. A., Filippov V. G. Surveying procedure for slope landslide using satellite-based measurements. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(2):130-144. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_2\_0\_130.

---

## Введение

На качество освоения территорий влияют различные факторы [1, 2], среди которых важную роль занимает наличие опасных природных процессов [3, 4]. Контроль величин оползневых смещений при активизации оползневых процессов может способствовать принятию своевременных решений по минимизации его пагубного влияния и сохранению жизни и здоровья людей, находящихся в зоне риска [5, 6]. Существуют различные способы определения величин оползневых смещений, среди которых методы математического моделирования [7–9], линейно-угловых измерений [10–12], воздушно-лазерного сканирования [13, 14], аэрофотосъемки с применением беспилотных авиационных систем

[15, 16], дистанционного зондирования Земли [17–19], фотограмметрии [20–22] и другие. Наиболее перспективным методом видится технология спутникового позиционирования ввиду удобства ее применения, оперативности получения плановых координат и высот опорных и рабочих реперов при наблюдениях за оползневыми смещениями. В настоящее время технология спутникового позиционирования применяется в режиме «статика» при наблюдениях за движениями земной коры [23–25], анализе сейсмоактивности [26–28], определении скорости [29] и прогнозировании величин оползневых смещений [30] и других видах работ. Технология Real-Time Kinematic (RTK, в переводе с англ. — «кинематика реального времени») [31] при

наблюдениях за смещениями применяется в случае использования сетевого режима RTK [32, 33], при этом нередки случаи, при которых достаточно точности недорогих бюджетных ГНСС-приемников (ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы) [34–36].

Несмотря на то, что технология спутникового позиционирования обозначается в нормативных документах как один из методов определения горизонтальных и вертикальных смещений (например, Свод правил 420.1325800.2018 «Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования» (СП 420)), методика применения технологии спутникового позиционирования в них описана

недостаточно полно: не обозначены режимы, при которых возможны определения положений рабочих реперов относительно опорных, условия наблюдений и другие параметры, необходимые при создании миссии наблюдений. Условия наблюдений ограничены лишь предельно допустимой средней квадратической погрешностью (СКП) определения смещений, численно равной 20 мм в плане и 10 мм по высоте, а возможность определения вертикальных смещений согласно нормативному документу должна дополнительно обосновываться.

Для решения поставленных задач предлагается методика маркшейдерско-геодезических наблюдений оползневого процесса склоновой системы на осно-

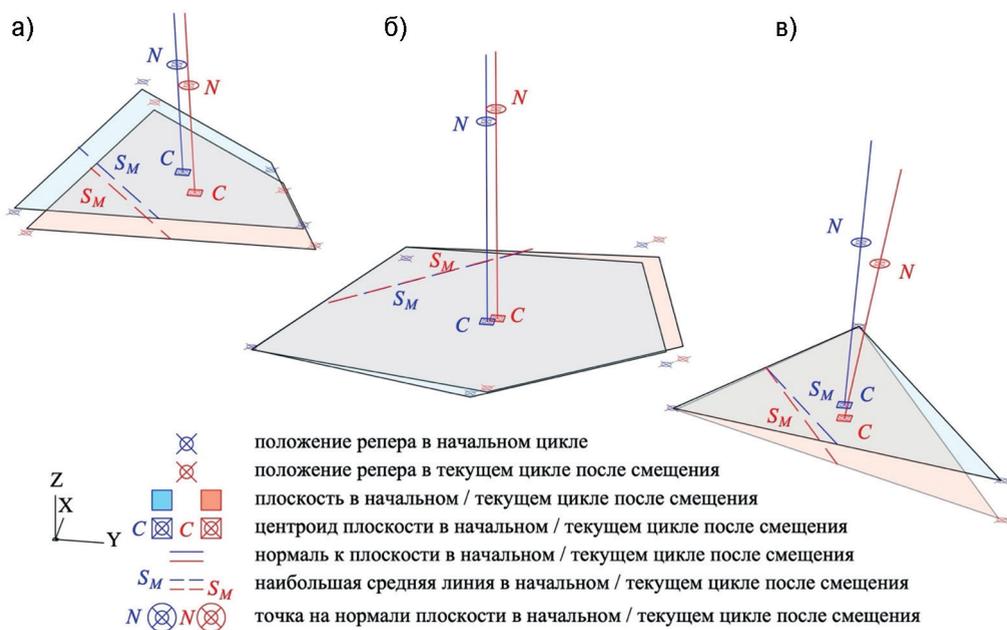


Рис. 1. Характерные элементы плоскости (центроид плоскости  $C$ , нормаль к плоскости, точка на нормали к плоскости  $N$ ), полученной путем аппроксимации плановых координат и высот опорных реперов при различных видах их смещений: смещение в пространстве всех опорных реперов (а); горизонтальное смещение части опорных реперов (б); вертикальное смещение части опорных реперов (в) (материалы автора)

Fig. 1. Characteristic elements of the plane (centroid of the plane  $C$ , normal to the plane, point on the normal to the plane  $N$ ), obtained by approximation of plane coordinates and heights of reference benchmarks at different types of their displacements: displacement in space of all reference benchmarks (a); horizontal displacement of a part of reference benchmarks (b); vertical displacement of a part of reference benchmarks (v) (author's materials)

ве данных спутниковых определений. Основной целью исследования является уточнение возможных параметров наблюдений оползневых склонов технологией спутникового позиционирования.

### Методы и материалы

Этап 1 предполагает определение положения опорных реперов технологией спутникового позиционирования в режиме «статика» с дальнейшей оценкой стабильности сети. Оценку стабильности предлагается выполнять путем аппроксимации плановых координат и высот опорных реперов плоскостью и вычисления положения характерных элементов плоскости, приведенных на рис. 1.

Значения плановых координат и высоты центра тяжести  $C$  плоскости будут рассчитываться по соотношениям (1) – (3):

$$X_C = \frac{\sum_{k=1}^n X_k}{n}; \quad (1)$$

$$Y_C = \frac{\sum_{k=1}^n Y_k}{n}; \quad (2)$$

$$H_C = \frac{\sum_{k=1}^n H_k}{n}. \quad (3)$$

Направляющие косинусы нормали к плоскости вычисляются по формулам (4) – (9):

$$\cos \alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad (4)$$

$$\cos \beta = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad (5)$$

$$\cos \gamma = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad (6)$$

$$A = \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) - \sum_{k=1}^n (H_k \cdot H_k) \right) - \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_k) - \sum_{k=1}^n (H_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) \right) \quad (7)$$

$$B = \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_i) - \sum_{k=1}^n (H_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_k) \right) - \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot X_k) - \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) - \sum_{k=1}^n (H_k \cdot H_k) \right) \quad (8)$$

$$C = \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot X_k) - \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) \right) - \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (Y_k \cdot H_k) \right) \cdot \left( \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n (X_k \cdot H_k) \right) \quad (9)$$

где  $\alpha, \beta$  – углы между положительными направлениями осей координат  $X, Y$  и нормалью к плоскости, град.;  $\gamma$  – угол между отвесной линией и нормалью к плоскости, градусы;  $n$  – количество опорных реперов, плановые координаты и высоты которых аппроксимируются плоскостью, ед.

Пространственное положение точки на нормали  $N$  к плоскости в таком слу-

чае будет определяться соотношениями (10) – (12):

$$X_N = X_C \cdot \cos \alpha \cdot S_M; \quad (10)$$

$$Y_N = Y_C \cdot \cos \beta \cdot S_M; \quad (11)$$

$$H_N = H_C \cdot \cos \gamma \cdot S_M, \quad (12)$$

где  $S_M$  – длина наибольшей средней линии фигуры, полученной в результате ограничения плоскости ломаной линией, построенной по вершинам наиболее удаленных от центра плоскости  $S$  опорных реперов.

Подобный алгоритм действий позволит выделить критерий стабильности сети – неизменность положения плоскости относительно начального цикла, и, как следствие, неизменность положения характерных элементов плоскости, что позволит в свою очередь выполнить оценку стабильности опорных реперов.

Выполненные наблюдения в режиме «статика» обрабатывают в следующем порядке:

1. Предварительная обработка, которая заключается в разрешении неоднозначности фазовых измерений и вычисления векторов базовых линий. По результатам предобработки для всех векторов определяются фиксированные или плавающие решения, а также определяются точности наблюдения векторов в плане и по высоте. В проекте применяются параметры системы координат.

2. Свободное уравнивание, при котором все опорные реперы являются определяемыми. В результате свободного уравнивания определяются плановые координаты и высоты опорных реперов со СКП определения их положения.

3. Определение наиболее надежного опорного репера по наименьшим СКП определения его положения, полученным по результатам свободного уравнивания.

4. Ограниченное уравнивание, в качестве опорного репера используется наиболее надежный опорный репер с

плановыми координатами и высотой из свободного уравнивания.

5. Определение на основе моделирования предельно допустимого диапазона изменения положений характерных элементов плоскости (критерий стабильности сети).

6. Определение положения характерных элементов плоскости в текущем цикле наблюдений.

В последующих циклах наблюдений:

1. Предварительная обработка, аналогично пункту 1 алгоритма действий по обработке начальных циклов наблюдений.

2. Ограниченное уравнивание, в качестве опорного репера используется наиболее надежный опорный репер из предыдущего цикла наблюдений с плановыми координатами и высотой из предыдущего цикла наблюдений.

3. Определение положения характерных элементов плоскости в текущем цикле наблюдений и их смещений относительно начального цикла наблюдений.

4. Анализ смещений плоскости в текущем цикле, вывод о стабильности или нестабильности сети.

На этапе 2 выполняется определение положения рабочих реперов технологией RTK. ГНСС-приемник в режиме базовой станции устанавливается на наиболее надежный опорный репер в данном цикле, положение рабочих реперов определяется технологией RTK при наблюдениях с помощью ГНСС-приемника в режиме ровера.

Оптимальная продолжительность наблюдений определена по эксперименту, моделирующему процесс оползневого смещения: 6 дюбелей были установлены в створе друг относительно друга через различные расстояния с различной высотой. Базовая станция в эксперименте была поочередно установлена на расстояния 1007, 1987, 5011, 10020 м от ровера. Предполагается, что рабочий репер

имеет смещения между циклами, которые представлены дюбелями, расположенными через расстояния в плане от 76 до 405 мм, по высоте — от 3 до 29 мм. Расстояния между дюбелями были измерены штангенциркулем МИ-1115 (СКП измерения 0,3 мм). Превышение между дюбелями было измерено при помощи цифрового нивелира Sokkia SDL50 в комплекте с фиброглассовыми рейками BGS40 (СКП измерения превышений: 1,5 мм на 1 км двойного хода) методом геометрического нивелирования. Полученные расстояния и превышения были приняты в качестве эталонных. Эталонные расстояния и превышения измерялись многократно, впоследствии для каждого интервала было принято среднее значение из всех измерений. Для вычисленных эталонных превышений и расстояний были рассчитаны СКП их определения по формуле Бесселя, а СКП смещений — по формуле Гаусса.

Пространственное положение всех 6 дюбелей было получено с помощью

технологии RTK с применением ГНСС-приемников EFT M4, Trimble R8 и Topcon Hiper V. Для каждого из ГНСС-приемников наблюдения выполнялись при различном количестве эпох: 10, 30, 60, 90, 120, 180, 210 и 240 с частотой измерений 1 Гц. По разностям определенных плановых координат и высот, полученных с применением технологии RTK, были вычислены расстояния и превышения между дюбелями и сравнены с эталонными расстояниями и превышениями. По результатам расчетов выявлено, что при числе эпох не менее 180 с частотой измерений 1 Гц, что эквивалентно 3 мин наблюдений на одном репере), с удалением от базовой станции не более чем на 1 км достигаются точности, указанные в СП 420. Результаты исследования представлены в таблице.

3 этап направлен на обработку полученных данных и прогнозирование величин оползневых смещений на дальнейшие периоды. По полученным плановым координатам и высотам рабочих

**Величины СКП определения смещений рабочих реперов технологий RTK при удалении от одиночной базовой станции на величину 1007 м для различных ГНСС-приемников и различного количества наблюдаемых эпох (материалы автора)**  
**The values of the RMSE of determination of displacements of the observation station's working benchmarks by RTK technology at a distance of 1007 m from a single base station for different GNSS receivers and different number of observed epochs (author's materials).**

Количество эпох (частота измерения 1 Гц)	СКП определения смещений, мм					
	EFT M4		Trimble R8		Topcon Hiper V	
	$mS_{XY}$	$mS_H$	$mS_{XY}$	$mS_H$	$mS_{XY}$	$mS_H$
10	13	25	7	18	10	28
30	6	12	10	16	13	25
60	6	10	10	20	14	30
90	8	11	10	20	14	30
120	8	9	10	16	14	24
180	7	9	9	16	13	25
210	7	9	9	15	12	24
240	7	9	9	15	12	24

Обозначения:  $mS_{XY}$  — СКП определения горизонтальных смещений;  $mS_H$  — СКП определения вертикальных смещений.

реперов формируются временные ряды смещений, которые аппроксимируются линейной функцией, что позволяет получить уравнение прогноза вида  $y = kx + b$ . Руководствуясь тем, что такой прогноз будет наиболее точным лишь при равномерных смещениях без увеличения скорости оползневых смещений, предлагается исключать из обработки циклы, предшествующие резкому увеличению скорости оползневых смещений, что повысит точность прогноза линейной функцией.

Определить места резкого увеличения оползневых смещений возможно, аппроксимируя линейной функцией временной ряд от начального цикла к каждому из последующих циклов и анализируя изменения коэффициентов  $\Delta k$  и  $\Delta b$ . В случае, если их значения превышают максимально допустимые  $\Delta k_{\max}$  и  $\Delta b_{\max}$ , можно говорить о резком увеличении скорости оползневых смещений.

Для вывода формул зависимости изменения коэффициентов  $\Delta k$  и  $\Delta b$  от скорости оползневых смещений и количества циклов наблюдений выполнено моделирование равномерных оползневых смещений в течение 12 циклов, а в последнем 13 цикле предполагалось, что произошло изменение скорости смещений оползня на разные величины: от 0 до 10 мм/цикл. Далее анализировались величины изменения коэффициентов  $k$  и  $b$ . Установлено, что соотношения (13) – (14) для любых значений изменения скорости смещений оползня  $\Delta v$  будут равны:

$$k = k_1(\Delta v + 1) + b_1, \quad (13)$$

$$b = k_2(\Delta v + 1) + b_2, \quad (14)$$

где  $k_1, b_1$  – коэффициенты уравнения прямой, полученной путем линейной аппроксимации значений коэффициента  $k$  в зависимости от изменения скорости смещений оползня;  $k_2, b_2$  – коэффициенты уравнения прямой, полученной

путем линейной аппроксимации значений коэффициента  $b$  в зависимости от изменения скорости смещений оползня;  $\Delta v$  – изменение скорости смещений оползня, мм/цикл.

В свою очередь, значения коэффициентов  $k_1$  и  $b_1$  будут зависеть от количества циклов наблюдений  $n$ . Для этого рассмотрим в смоделированном примере значения  $n$  от 3 до 13. При таких значениях, коэффициент  $k_1$  будет иметь степенную зависимость от количества циклов наблюдений, а  $k_2$  – логарифмическую зависимость. Коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  при этом будут равны коэффициентам  $k_1$  и  $k_2$  с обратным знаком.

В ходе выполненного моделирования при изменении величин скорости оползневых смещений и количества циклов наблюдений были получены зависимости (15) – (16) величин  $\Delta k_{\max}$  и  $\Delta b_{\max}$  от количества циклов наблюдений и предполагаемого изменения скорости смещений оползня в последнем цикле наблюдений:

$$\Delta k_{\max} = \Delta v \left( 0,6294(n-2)^{-1,169} \right), \quad (15)$$

$$\Delta b_{\max} = \Delta v (0,2144 \ln(n-2) - 0,6466). \quad (16)$$

## Результаты

В рамках апробации предлагаемой методики были выполнены 4 цикла наблюдений оползневого склона левого берега реки Тосны: 15.07.2023 г., 07.10.2023 г., 27.04.2024 г. и 28.07.2024 г. Опорная сеть состояла из 4 опорных реперов ОР1 – ОР4 (рис. 2) и наблюдалась технологией спутникового позиционирования в режиме «статика» тремя ГНСС-приемниками EFT M4.

В нулевом цикле получены следующие значения предельно допустимого диапазона изменения положений характерных элементов плоскости:  $X_c = 0,003$  м;

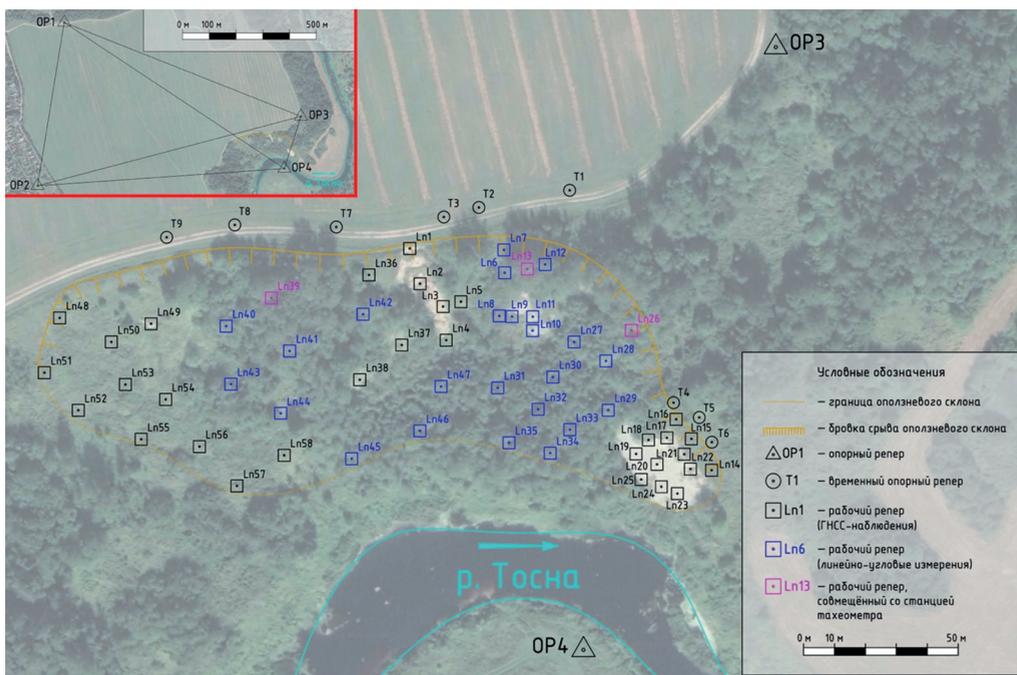


Рис. 2. Схема расположения опорных, временных опорных и рабочих реперов на оползневом склоне левого берега р. Тосны (материалы автора)

Fig. 2. Schematic diagram of the location of reference, temporary reference and working benchmarks on the landslide slope of the left bank of the Tosna River (author's materials)

$Y_C = 0,003$  м;  $H_C = 0,006$  м,  $\alpha = 0^\circ 00' 05,37''$ ,  $\beta = 0^\circ 00' 02,78''$ ,  $\gamma = 0^\circ 00' 02,99''$ ,  $X_N = 0,013$  м,  $Y_N = 0,007$  м,  $H_N = 0,007$  м. Оценка стабильности опорных реперов аппроксимацией их плановых координат и высот плоскостью показала стабильность сети в 0–2 циклах наблюдений, наиболее надежным был выбран опорный репер OP3. В 3 цикле наблюдений произошло смещение центра тяжести по высоте  $H \Delta H_C$  ( $0,016 > 0,006$ ), отклонение нормали к плоскости  $\Delta\beta$  ( $0^\circ 00' 08,71'' > 0^\circ 00' 02,78''$ ),  $\Delta\gamma$  ( $0^\circ 00' 06,31'' > 0^\circ 00' 02,99''$ ), а также смещение точки на нормали к плоскости по оси  $Y \Delta Y_N$  ( $0,020 > 0,007$ ) и высоте  $H \Delta H_N$  ( $0,015 > 0,007$ ), что говорит о возможной осадке опорных реперов OP3 и OP4. Путем поочередного исключения опорных реперов из обработки и повторной аппроксимации плоскостью была

обнаружена нестабильность опорного репера OP3, в связи с чем в 3 цикле наблюдений наиболее надежным был выбран опорный репер OP4.

Определение положения рабочих реперов оползневом склоне левого берега р. Тосны осуществлялось с помощью технологии RTK с применением двух технологий RTK с применением двух ГНСС-приемников EFT M4 в качестве базовой станции и ровера. Подключение с применением технологии RTK осуществлялось при режиме передачи RTCM-поправок от одиночной базовой станции через сеть Интернет посредством технологии NTRIP. В качестве базовой станции ГНСС-приемник устанавливался над опорным репером, который был определен как наиболее надежный в данном цикле наблюдений.

Съемка выполнялась в условной системе координат, близкой к местной сис-

теме координат МСК-47, зона 2. Каждый рабочий репер наблюдался при количестве эпох, равном 180 с частотой измерений 1 Гц. При настройках параметров наблюдений был установлен режим осреднения эпох, при использовании которого в память контроллера записывалось осредненное из 180 эпох значение плановых координат и высоты каждого из наблюдаемых рабочих реперов. Маска возвышения устанавливалась со значением  $10^\circ$  в нулевом цикле наблюдений, со значением  $15^\circ$  – в 1–3 циклах наблюдений. Измерения выполнялись в четырех ГНСС-системах: GPS и ГЛОНАСС, Galileo и Beidou. Всего было определено положение 58 рабочих реперов Ln1–Ln58. Рабочие реперы, которые невозможно было наблюдать технологией RTK ввиду отсутствия ГНСС-сигналов,

определялись линейно-угловыми измерениями, с определением положения точки стояния тахеометра обратной засечкой от временных опорных реперов, которые определялись технологией RTK и располагались в зоне наличия ГНСС-сигналов. СКП определения положения рабочих реперов технологией RTK варьировалась в диапазоне 7–9 мм в плане и 9–10 мм по высоте, что удовлетворяет требованиям СП 420.

### Обсуждение результатов

По данным, полученным в ходе наблюдений оползневого склона, были построены временные ряды пространственных смещений рабочих реперов в теле оползня (рис. 3).

На основе временных рядов были получены уравнения прогноза по дан-

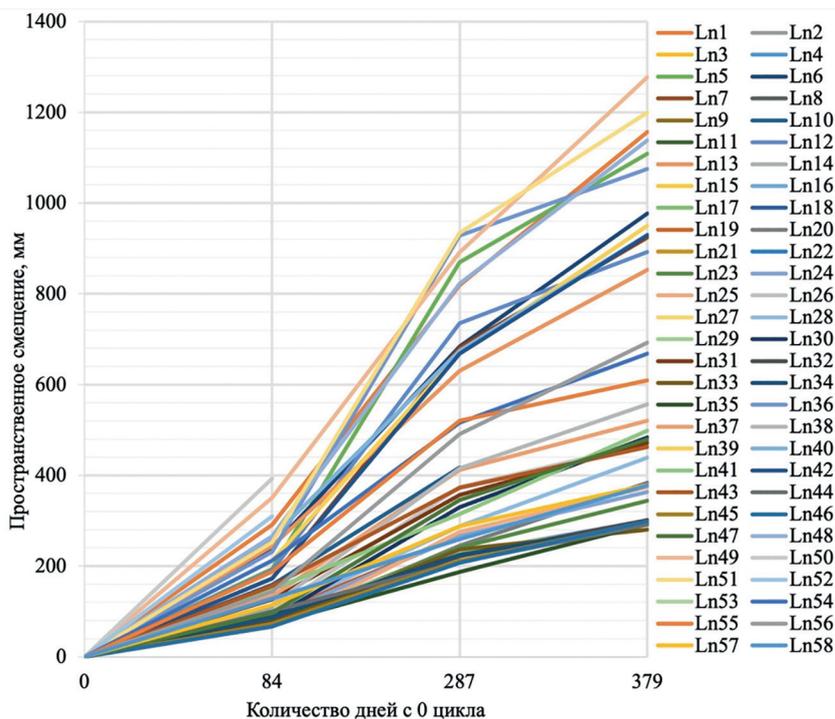


Рис. 3. Временные ряды пространственных смещений рабочих реперов оползневого склона левого берега р. Тосны (материалы автора)

Fig. 3. Time series of spatial displacements of the working benchmarks of the landslide slope of the left bank of the Tosna River (author's materials)

ным 0–1, 0–2 и 0–3 циклов наблюдений на следующий цикл наблюдений для каждого из рабочих реперов, а после проведения цикла наблюдений выполнялась оценка точности прогноза.

На примере репера Ln12 составлено уравнение прогноза пространственных смещений по данным 0–1 циклов:  $y = 2,262x$ , где  $x$  — количество суток с нулевого цикла. Вычислено прогнозное значение пространственных смещений с нулевого по 2 цикл наблюдений, которое оказалось равным 649 мм, фактическое значение смещений с нулевого по 2 цикл при этом было 736 мм, точность прогноза составила 88%.

По данным с нулевого по 2 цикл наблюдений составлено уравнение прогноза пространственных смещений  $y = 2,588x - 11,335$ . Прогнозное значение смещений с нулевого по 3 цикл было равно 969 мм, фактическое значение — 892 мм, точность прогноза составила 91%. Скорости смещений составили 70 мм/месяц для 0–1 циклов, 85 мм/месяц для 1–2 циклов и 54 мм/месяц для 2–3 циклов. В последнем цикле наблюдений отмечено снижение скорости смещений на 31 мм/месяц, это дает сигнал о том, что в следующем цикле может потребоваться корректировка прогноза.

### **Заключение**

Предложенная методика наблюдений оползневых смещений, основанная на применении технологии спутникового позиционирования, была проверена при наблюдениях за оползневыми смещениями левого берега р. Тосны в ходе 4 цик-

лов наблюдений. В ходе наблюдений было отмечено удобство при выполнении полевых работ, оперативность получения данных, простота в обработке получаемых результатов. По результатам наблюдений были получены временные ряды оползневых смещений, а также выполнен прогноз величин оползневых смещений. По данным 3 циклов наблюдений на 4 цикл наблюдений точность прогноза оказалась на высоком уровне, что говорит о равномерных оползневых смещениях наблюдаемого склона. На данном этапе резких изменений скорости смещений при расчетах по формулам (15)–(16) обнаружено не было, в исключении циклов из обработки необходимости не было.

Предложенная методика может быть использована при маркшейдерско-геодезических наблюдениях за оползневыми склонами, позволит повысить оперативность получаемых данных и снизит трудозатраты на определение величин смещений по сравнению с наблюдениями рабочих реперов линейно-угловыми измерениями.

Авторы выражают благодарность всем, кто вносил корректировки, предложения по улучшению качества материалов статьи по ходу ее подготовки. Также авторы выражают благодарность кафедре Инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета за предоставленную возможность в проведении исследования. Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за их ценные комментарии.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Bykova E. N., Banikevich T. D., Zalivatskaya N. V., Pirogova O. E. Modeling the cadastral value of land plots of gardening and horticultural non-profit partnerships taking into account the influence of local factors of the territory. Land. 2024, vol. 13, no. 7, article 1004. DOI: 10.3390/land13071004.
2. Banikevich T. D., Bykova E. N., Zalivatskaya N. V., Pirogova O. E. Pattern determination of the territory local factors influence on the land plots' cadastral value of gardening and horticultural

- non-profit partnerships // *Population and Economics*. 2024, vol. 8, no. 3, pp. 86–107. DOI: 10.3897/ropecon.8.e115183.
3. *Pospehov G. B., Savon Y., Delgado R., Castellanos E. A., Peña A.* Inventory of landslides triggered by Hurricane Matthews in Guantánamo, Cuba // *Geography, Environment, Sustainability*. 2023, vol. 16, no. 1, pp. 55–63. DOI: 10.24057/2071-9388-2022-133.
4. *Dashko R. E., Karpenko A. G.* Scientific-practical enhancement principles for the long-term stability of cultural heritage objects through a multi-component underground space analysis // *Heritage*. 2024, vol. 7, no. 8, pp. 4455–4471. DOI: 10.3390/heritage7080210.
5. *Tesfa C., Demeke Sewnet D.* GIS-based MCDM approach for landslide hazard zonation mapping in east Gojjam zone, central Ethiopia // *Quaternary Science Advances*. 2024, vol. 15, article 100210. DOI: 10.1016/j.qsa.2024.100210.
6. *Peethambaran B., Leshchinsky B.* Application of landslide susceptibility towards urbanization suitability zonation in mountainous settings // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023, vol. 97, article 104061. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2023.104061.
7. *Глазунов В. В., Бурлуцкий С. Б., Шувалова Р. А., Жданов С. В.* Повышение достоверности 3D-моделирования оползневого склона на основе учета данных инженерной геофизики // *Записки Горного института*. — 2022. — Т. 257. — С. 771–782. DOI: 10.31897/PMI.2022.86.
8. *Ислямова А. А., Хорошилов В. С.* Моделирование перемещений оползневых склонов по материалам геодезических наблюдений и инженерно-геологических изысканий // *Вестник СГУГиТ*. — 2021. — Т. 26. — № 2. — С. 5–17. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-5-17.
9. *Халкечев Р. К., Халкечев К. В.* Применение теории катастроф для математического моделирования оползневого процесса на вогнутых склонах горных территорий // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 720–726. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-720-726.
10. *Dematteis N., Wrzesniak A., Allasia P., Bertolo D., Giordan D.* Integration of robotic total station and digital image correlation to assess the three-dimensional surface kinematics of a landslide. *Engineering Geology*. 2022, vol. 303, article 106655. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106655.
11. *Корнилов Ю. Н., Царёва О. С.* Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений // *Геодезия и картография*. — 2020. — № 4. — С. 9–18. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18.
12. *Корнилов Ю. Н., Царёва О. С., Шевченко А. С.* Оптимизация расположения деформационных марок при построении сети в виде линейной пространственной засечки // *Геодезия и картография*. — 2021. — № 12. — С. 2–11. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-978-12-2-11.
13. *Мустафин М. Г., Кологривко А. А., Васильев Б. Ю.* Анализ точности построения цифровых моделей рельефа на основе данных периодического воздушного лазерного сканирования горнопромышленного объекта // *Горный журнал*. — 2023. — № 2. — С. 56–62. DOI: 10.17580/gzh.2023.02.09.
14. *Di Lascio F. M., Falchetta G., Ferrari D.* Change detection from high-resolution airborne laser scans using penalized composite likelihood screening // *Spatial Statistics*. 2022, vol. 52, article 100710. DOI: 10.1016/j.spasta.2022.100710.
15. *Гусев В. Н., Блищенко А. А., Санникова А. П.* Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера // *Записки Горного института*. — 2022. — Т. 254. — С. 173–179. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.
16. *Выстрчил М. Г., Гусев В. Н., Сухов А. К.* Методика определения погрешностей сегментированных GRID моделей открытых горных выработок, построенных по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна // *Записки Горного института*. — 2023. — Т. 262. — С. 562–579. EDN: SZOFVD.
17. *Усиков В. И., Озарян Ю. А., Леоненко А. В.* Оценка запасов техногенных россыпей по данным дистанционного зондирования Земли (на примере Соловьевского и Кербинского золотоносных районов) // *Горный журнал*. — 2024. — № 6. — С. 27–33. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.04.
18. *Галченко Ю. П., Калабин Г. В.* Методика дешифровки данных дистанционного зондирования земной поверхности при развитии природно-технических систем недропользования // *Горный журнал*. — 2024. — № 8. — С. 59–63. DOI: 10.17580/gzh.2024.08.09.

19. Xu Q., Zhao B., Dai K., Dong X., Li W., Zhu X., Yang Y., Xiao X., Wang X., Huang J., Lu H., Deng B., Ge D. Remote sensing for landslide investigations: A progress report from China // *Engineering Geology*. 2023, vol. 321, article 107156. DOI: 10.1016/j.enggeo.2023.107156.

20. Яицкая Н. А., Бригида В. С., Гаврина О. А., Копылов А. С. Фотограмметрическая оценка деформационных процессов на оползневых склонах при обеспечении устойчивого развития территорий Кавказа // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 558 — 567. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-558-567.

21. Carle E., Sirgucy P., Cox S. C. Measuring landslide-driven ground displacements with high-resolution surface models and optical flow // *Computers & Geosciences*. 2023, vol. 178, article 105378. DOI: 10.1016/j.cageo.2023.105378.

22. Sepe C., Calcaterra D., Di Martire D., Fusco F., Tufano R., Vitale E., Guerriero L. Triggering conditions and propagation of the December 2019 Palma Campania landslide: Implications for residual hazard estimation at recurrent landslide sites // *Engineering Geology*. 2023, vol. 322, article 107177. DOI: 10.1016/j.enggeo.2023.107177.

23. Zhuang W., Cui D., Hao M., Song S., Li Z. Geodetic constraints on contemporary three-dimensional crustal deformation in the Laji Shan—Jishi Shan tectonic belt // *Geodesy and Geodynamics*. 2023, vol. 14, no. 6, pp. 589—596. DOI: 10.1016/j.geog.2023.03.006.

24. Su X., Bao Q., Gao Z., Huang J. Three-dimensional interseismic crustal deformation in the northeastern margin of the Tibetan Plateau using GNSS and InSAR // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2024, vol. 276, article 106328. DOI: 10.1016/j.jseas.2024.106328.

25. Li S., Gao Y., Jin H. Upper crustal deformation characteristics in the northeastern Tibetan Plateau and its adjacent areas revealed by GNSS and anisotropy data // *Earthquake Science*. 2023, vol. 36, no. 4, pp. 297—308. DOI: 10.1016/j.eqs.2023.05.003.

26. Zhang Z., Pan Z. Geodetic and seismic constraints on contemporary deformation on the northeastern Tibetan plateau: Velocity and strain rate tensor analysis // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2023, vol. 338, article 107014. DOI: 10.1016/j.pepi.2023.107014.

27. Gao Y., Qu W., Zhang Q., Li J., Li D., Wang Y., Hao M. Assessment of the seismic hazard in North China by combining micro-seismicity records and geodetic observations // *Tectonophysics*. 2023, vol. 869, article 230130. DOI: 10.1016/j.tecto.2023.230130.

28. Pang Q., Wu Y., Chu R., Zhang Y., Yan J., Zhang L., Liao W., Xiaoqian Sun X., Dokuchits E. Yu., Nkwazema O. C. Deep structural characteristics and dynamic significance of the Southeastern margin of the North China Craton: Insights from gravity/GNSS/seismic observations // *Tectonophysics*. 2024, vol. 874, article 230243. DOI: 10.1016/j.tecto.2024.230243.

29. Кузин А. А., Филиппов В. Г. Разработка алгоритма выбора метода и геодезического оборудования в зависимости от скорости оползневых смещений на примере Миатлинской ГЭС // *Вестник СГУГиТ*. — 2023. — Т. 28. — № 4. — С. 22—37. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37.

30. Yang C., Yin Y., Zhang J., Ding P., Liu J. A graph deep learning method for landslide displacement prediction based on global navigation satellite system positioning // *Geoscience Frontiers*. 2024, vol. 15, no. 1, article 101690. DOI: 10.1016/j.gsf.2023.101690.

31. Елагин А. В., Зайцев М. В., Прохоров Д. А., Шендрик Н. К. Оценка точности определения координат спутниковыми приемниками EFT M3 GNSS и EFT M4 GNSS в режиме RTK // *Вестник СГУГиТ*. — 2020. — Т. 25. — № 3. — С. 26—33. — DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.

32. Shu B., He Y., Wang L., Zhang Q., Li X., Qu X., Huang G., Qu W. Real-time high-precision landslide displacement monitoring based on a GNSS CORS network // *Measurement*. 2023, vol. 217, article 113056. DOI: 10.1016/j.measurement.2023.113056.

33. Wang P., Liu H., Nie G., Yang Z., Wu J., Qian C., Shu B. Performance evaluation of a real-time high-precision landslide displacement detection algorithm based on GNSS virtual reference station technology // *Measurement*. 2022, vol. 199, article 111457. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.111457.

34. Paziewski J., Sieradzki R., Rapinski J., Tomaszewski D., Stepniak K., Geng J., Li G. Integrating low-cost GNSS and MEMS accelerometer for precise dynamic displacement monitoring // *Measurement*. 2025, vol. 242 Part A, article 115798. DOI: 10.1016/j.measurement.2024.115798.

35. Barbosa L. A., Costa D. C., de Oliveira H. C. Evaluation of low-cost GNSS receivers for speed monitoring // *Case Studies on Transport Policy*. 2022, vol. 10, no. 1, pp. 239—247. DOI: 10.1016/j.cstp.2021.12.005.

36. Tomašík J., Varga M., Everett T. Raw GNSS data collected using smartphones and low-cost receiver under optimal and sub-optimal conditions // Data in Brief. 2024, vol. 53, article 110148. DOI: 10.1016/j.dib.2024.110148. **PLoS**

## REFERENCES

1. Bykova E. N., Banikevich T. D., Zalivatskaya N. V., Pirogova O. E. Modeling the cadastral value of land plots of gardening and horticultural non-profit partnerships taking into account the influence of local factors of the territory. *Land*. 2024, vol. 13, no. 7, article 1004. DOI: 10.3390/land13071004.

2. Banikevich T. D., Bykova E. N., Zalivatskaya N. V., Pirogova O. E. Pattern determination of the territory local factors influence on the land plots' cadastral value of gardening and horticultural non-profit partnerships. *Population and Economics*. 2024, vol. 8, no. 3, pp. 86–107. DOI: 10.3897/popcon.8.e115183.

3. Pospehov G. B., Savon Y., Delgado R., Castellanos E. A., Peña A. Inventory of landslides triggered by Hurricane Matthews in Guantánamo, Cuba. *Geography, Environment, Sustainability*. 2023, vol. 16, no. 1, pp. 55–63. DOI: 10.24057/2071-9388-2022-133.

4. Dashko R. E., Karpenko A. G. Scientific-practical enhancement principles for the long-term stability of cultural heritage objects through a multi-component underground space analysis. *Heritage*. 2024, vol. 7, no. 8, pp. 4455–4471. DOI: 10.3390/heritage7080210.

5. Tesfa C., Demeke Sewart D. GIS-based MCDM approach for landslide hazard zonation mapping in east Gojjam zone, central Ethiopia. *Quaternary Science Advances*. 2024, vol. 15, article 100210. DOI: 10.1016/j.qsa.2024.100210.

6. Peethambaran B., Leshchinsky B. Application of landslide susceptibility towards urbanization suitability zonation in mountainous settings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023, vol. 97, article 104061. DOI: 10.1016/j.ijdr.2023.104061.

7. Glazunov V. V., Burlutskii S. B., Shuvalova R. A., Zhdanov S. V. Improving the reliability of 3D modelling of a landslide slope based on engineering geophysics data. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 771–782. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.86.

8. Islyamova A. A., Khoroshilov V. S. Simulation of displacement of landslides on the materials of geodesic observations and engineering-geological surveys. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2021, vol. 26, no. 2, pp. 5–17. [In Russ]. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-5-17.

9. Khalkechev R. K., Khalkechev K. V. Application of catastrophe theory for mathematical modelling of landslide process in concave slopes of mountain territories. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 720–726. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-720-726.

10. Dematteis N., Wrzesniak A., Allasia P., Bertolo D., Giordan D. Integration of robotic total station and digital image correlation to assess the three-dimensional surface kinematics of a landslide. *Engineering Geology*. 2022, vol. 303, article 106655. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106655.

11. Kornilov Yu. N., Tsareva O. S. Perfecting the methods of monitoring the buildings and structures deformation. *Geodesy and cartography*. 2020, no. 4, pp. 9–18. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18.

12. Kornilov Yu. N., Tsareva O. S., Shevchenko A. S. Optimization of deformation marks location at building a network in the form of a linear spatial intersection. *Geodesy and cartography*. 2021, no. 12, pp. 2–11. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-978-12-2-11.

13. Mustafin M. G., Kologrivko A. A., Vasil'ev B. Yu. Accuracy of digital terrain modeling based on periodic airborne laser scanning of a mining object. *Gornyi Zhurnal*. 2023, no. 2, pp. 56–62. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2023.02.09.

14. Di Lascio F. M., Falchetta G., Ferrari D. Change detection from high-resolution airborne laser scans using penalized composite likelihood screening. *Spatial Statistics*. 2022, vol. 52, article 100710. DOI: 10.1016/j.spasta.2022.100710.

15. Gusev V. N., Blishchenko A. A., Sannikova, A. P. Study of a set of factors influencing the error of surveying mine facilities using a geodesic quadcopter. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 254, pp. 173–179. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.35.

16. Vystrchil M. G., Gusev V. N., Sukhov A. K. A method of determining the errors of segmented GRID models of open-pit mines constructed with the results of unmanned aerial photogrammetric survey. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 262, pp. 562 – 579. [In Russ]. EDN: SZOFVD.
17. Usikov V. I., Ozaryan Yu. A., Leonenko A. V. Appraisal of manmade placers by remote sensing data: a case-study of the Solovievsk and Kerbi gold provinces. *Gornyi Zhurnal*. 2024, no. 6, pp. 27 – 33. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.04.
18. Galchenko Yu. P., Kalabin G. V. Methodology for decoding remote sensing data of the Earth's surface in the development of natural and technical systems of subsoil use. *Gornyi Zhurnal*. 2024, no. 8, pp. 59 – 63. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2024.08.09.
19. Xu Q., Zhao B., Dai K., Dong X., Li W., Zhu X., Yang Y., Xiao X., Wang X., Huang J., Lu H., Deng B., Ge D. Remote sensing for landslide investigations: A progress report from China. *Engineering Geology*. 2023, vol. 321, article 107156. DOI: 10.1016/j.enggeo.2023.107156.
20. Yaitskaya N. A., Brigida V. S., Gavrina O. A., Kopylov A. S. Photogrammetric assessment of deformation processes of landslide slopes while ensuring sustainable development of Caucasus Territories. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 558 – 567. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-558-567.
21. Carle E., Sirguy P., Cox S. C. Measuring landslide-driven ground displacements with high-resolution surface models and optical flow. *Computers & Geosciences*. 2023, vol. 178, article 105378. DOI: 10.1016/j.cageo.2023.105378.
22. Sepe C., Calcaterra D., Di Martire D., Fusco F., Tufano R., Vitale E., Guerriero L. Triggering conditions and propagation of the December 2019 Palma Campania landslide: Implications for residual hazard estimation at recurrent landslide sites. *Engineering Geology*. 2023, vol. 322, article 107177. DOI: 10.1016/j.enggeo.2023.107177.
23. Zhuang W., Cui D., Hao M., Song S., Li Z. Geodetic constraints on contemporary three-dimensional crustal deformation in the Laji Shan – Jishi Shan tectonic belt. *Geodesy and Geodynamics*. 2023, vol. 14, no. 6, pp. 589 – 596. DOI: 10.1016/j.geog.2023.03.006.
24. Su X., Bao Q., Gao Z., Huang J. Three-dimensional interseismic crustal deformation in the northeastern margin of the Tibetan Plateau using GNSS and InSAR. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2024, vol. 276, article 106328. DOI: 10.1016/j.jseaes.2024.106328.
25. Li S., Gao Y., Jin H. Upper crustal deformation characteristics in the northeastern Tibetan Plateau and its adjacent areas revealed by GNSS and anisotropy data. *Earthquake Science*. 2023, vol. 36, no. 4, pp. 297 – 308. DOI: 10.1016/j.eqs.2023.05.003.
26. Zhang Z., Pan Z. Geodetic and seismic constraints on contemporary deformation on the northeastern Tibetan plateau: Velocity and strain rate tensor analysis. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2023, vol. 338, article 107014. DOI: 10.1016/j.pepi.2023.107014.
27. Gao Y., Qu W., Zhang Q., Li J., Li D., Wang Y., Hao M. Assessment of the seismic hazard in North China by combining micro-seismicity records and geodetic observations. *Tectonophysics*. 2023, vol. 869, article 230130. DOI: 10.1016/j.tecto.2023.230130.
28. Pang Q., Wu Y., Chu R., Zhang Y., Yan J., Zhang L., Liao W., Xiaoqian Sun X., Dokuchits E. Yu., Nkwazema O. C. Deep structural characteristics and dynamic significance of the Southeastern margin of the North China Craton: Insights from gravity/GNSS/seismic observations. *Tectonophysics*. 2024, vol. 874, article 230243. DOI: 10.1016/j.tecto.2024.230243.
29. Kuzin A. A., Filippov V. G. Development of an algorithm for choosing a method and geodetic equipment depending on the velocity of landslide displacements, by the example of the Miatlinskaya HPS. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2023, vol. 28, no. 4, pp. 22 – 37. [In Russ]. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-4-22-37.
30. Yang C., Yin Y., Zhang J., Ding P., Liu J. A graph deep learning method for landslide displacement prediction based on global navigation satellite system positioning. *Geoscience Frontiers*. 2024, vol. 15, no. 1, article 101690. DOI: 10.1016/j.gsf.2023.101690.
31. Elagin A. V., Zaitsev M. V., Prokhorov D. A., Shendrik N. K. Estimation of coordinates accuracy determination by EFT M3 GNSS and EFT M4 GNSS satellite receivers in RTK mode. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2020, vol. 25, no. 3, pp. 26 – 33. [In Russ]. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.
32. Shu B., He Y., Wang L., Zhang Q., Li X., Qu X., Huang G., Qu W. Real-time high-precision landslide displacement monitoring based on a GNSS CORS network. *Measurement*. 2023, vol. 217, article 113056. DOI: 10.1016/j.measurement.2023.113056.

33. Wang P., Liu H., Nie G., Yang Z., Wu J., Qian C., Shu B. Performance evaluation of a real-time high-precision landslide displacement detection algorithm based on GNSS virtual reference station technology. *Measurement*. 2022, vol. 199, article 111457. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.111457.

34. Paziewski J., Sieradzki R., Rapinski J., Tomaszewski D., Stepniak K., Geng J., Li G. Integrating low-cost GNSS and MEMS accelerometer for precise dynamic displacement monitoring. *Measurement*. 2025, vol. 242 Part A, article 115798. DOI: 10.1016/j.measurement.2024.115798.

35. Barbosa L. A., Costa D. C., de Oliveira H. C. Evaluation of low-cost GNSS receivers for speed monitoring. *Case Studies on Transport Policy*. 2022, vol. 10, no. 1, pp. 239–247. DOI: 10.1016/j.cstp.2021.12.005.

36. Tomaščík J., Varga M., Everett T. Raw GNSS data collected using smartphones and low-cost receiver under optimal and sub-optimal conditions. *Data in Brief*. 2024, vol. 53, article 110148. DOI: 10.1016/j.dib.2024.110148.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шабаров Аркадий Николаевич*<sup>1</sup> — д-р техн. наук,  
Директор Научного центра геомеханики

и проблем горного производства,  
e-mail: shabarov\_an@pers.spmi.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-7925-3163,

*Кузин Антон Александрович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: kuzin\_aa@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1605-8739,

*Филиппов Владимир Геннадьевич*<sup>1</sup> — аспирант,  
e-mail: s225015@stud.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8968-8694,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.

**Для контактов:** Филиппов В.Г., e-mail: s225015@stud.spmi.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.N. Shabarov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.),

Director of Scientific Center

for Geomechanics and Issues of Mining Industry,

e-mail: shabarov\_an@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0001-7925-3163,

*A.A. Kuzin*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

e-mail: kuzin\_aa@pers.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1605-8739,

*V.G. Filippov*<sup>1</sup>, Graduate Student,

e-mail: s225015@stud.spmi.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8968-8694,

<sup>1</sup> Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,

Saint Petersburg, 199106, Russia.

**Corresponding author:** V.G. Filippov, e-mail: s225015@stud.spmi.ru.

Получена редакцией 28.09.2024; получена после рецензии 20.11.2024; принята к печати 10.01.2025.

Received by the editors 28.09.2024; received after the review 20.11.2024; accepted for printing 10.01.2025.

