

Анализ и моделирование влияния климатических изменений на территории Северо-Востока России на стабильность и деформацию геодезических сетей и инженерных сооружений

В. В. Арно^{1✉}, Е. П. Колесниченко², И. Ю. Гарифулина¹, И. Д. Долбин¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)»,
г. Магадан, Российская Федерация

² ВШГА МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ vvnika@mail.ru

Резюме. Рассматривается влияние климатических изменений на стабильность и деформацию геодезических сетей и инженерных сооружений на территории Северо-Востока России. Проведен анализ основных климатических факторов: температуры, осадков и глубины промерзания – за период 2016–2025 годов на основе данных Гидрометцентра России. Используются методы математического моделирования деформаций, а также описательная статистика и многомерный регрессионный анализ, включающие учет геотехнических характеристик грунтов и сезонных колебаний. Результаты исследований демонстрируют существенное влияние климатических параметров на деформации и необходимость адаптивного мониторинга инженерных решений для обеспечения устойчивости инфраструктуры региона.

Ключевые слова: Северо-Восток России, климатические изменения, деформации, геодезические сети, модели прогнозирования, мониторинг стабильности, геотехнические характеристики

Благодарности, признательность, финансирование: Авторы выражают благодарность коллегам ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет и сотрудникам СПбГУ, Институту наук о Земле за предоставленные материалы и консультации. Финансирование исследования осуществлено за счет собственных средств.

Для цитирования: Арно В. В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Долбин И.Д. Анализ и моделирование влияния климатических изменений на территории Северо-Востока России на стабильность и деформацию геодезических сетей и инженерных сооружений. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(6):72-77. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-72-77>.

Analysis and modeling of the impact of climate change in the North-East Russia on the stability and deformation of geodetic networks and engineering structures

V. V. Arno^{1✉}, E. P. Kolesnichenko², I. Yu. Garifulina¹, I. D. Dolbin¹

¹ North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation

² Higher School of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ vvnika@mail.ru

Abstract. This article analyzes the impact of climate change on the stability and deformations of geodetic networks and engineering structures in North-East Russia. The study covers key climatic factors – temperature, precipitation, and frost depth – from 2016 to 2025, based on data from the Russian Hydrometeorological Center. Methodologies include deformation mathematical modeling, descriptive statistics, and multivariate regression analysis, integrating geotechnical soil characteristics and seasonal variations. Results highlight significant effects of climatic factors on deformations and emphasize the need for adaptive monitoring and engineering measures to ensure infrastructure resilience in the region.

Keywords: climate change, deformations, geodetic networks, North-East Russia, predictive models, stability monitoring, geotechnical characteristics

Acknowledgments, funding, financial Support: The authors express their gratitude to their colleagues at North-Eastern State

University and St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, for providing the materials and consultations. The research was funded by the authors.

For citation: Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Dolbin I.D. Analysis and modeling of the impact of climate change in the North-East Russia on the stability and deformation of geodetic networks and engineering structures. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(6):72-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-6-72-77>.

Введение

Регион Северо-Востока России характеризуется жесткими климатическими условиями, которые в последние годы испытывают заметные изменения, связанные с глобальным потеплением и аномалиями погодных режимов. Увеличение среднегодовой температуры, изменение режима осадков и сезонные колебания температуры способствуют нарушению устойчивости грунтов и, как следствие, геодезических сетей и инженерных сооружений. Изучение влияния этих климатических факторов критично для обеспечения точности геодезических измерений и безопасности эксплуатации объектов [1–4].

Исследование направлено на выявление закономерностей взаимодействия климатических факторов, таких как температура, осадки и глубина промерзания грунтов, с геодезическими процессами, влияющими на устойчивость инженерной инфраструктуры.

Цель исследований: анализ и моделирование влияния климатических изменений на стабильность и деформации геодезических сетей и инженерных сооружений на территории Северо-Востока России.

Материал и методы исследований

Для анализа были использованы климатические данные Гидрометцентра России за 2015–2025 годов, включая температуры воздуха, количество и тип осадков, сроки промерзания и оттаивания грунтов.

Применялись методики математического моделирования деформаций с использованием сезонных колебаний температуры в виде функции

$$D(t) = D_0 + A \sin(\omega t + \phi) + Bt + \epsilon(t), \quad (1)$$

где $D(t)$ – прогнозируемое значение деформации в момент времени t ;

D_0 – начальное смещение;

A – амплитуда сезонных колебаний, связанная с глубиной промерзания;

ω – циклическая частота (годовой период);

ϕ – фазовый сдвиг, учитывающий сезонность;

B – коэффициент тренда, отображающий долгосрочные изменения;

$\epsilon(t)$ – стохастическая ошибка измерений.

Моделирование интегрировалось с геотехническими характеристиками почв, включая коэффициенты теплопроводности и влажности, что учитывается в многопараметрической функции риска смещений [5–7].

В процесс исследований влияния климатических изменений на деформации геодезических сетей в Северо-Восточной России были так же включены следующие статистические методы:

Описательная статистика, используемая для первичного анализа исходных данных, характеризующая их основные свойства.

Среднее значение $\bar{x}$ отражает центральную тенденцию

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (2)$$

Дисперсия S^2 и стандартное отклонение S измеряли разброс значений

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, S = \sqrt{S^2} \quad (3)$$

Коэффициент вариации $CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \%$ показывает относительную изменчивость параметра.

Коэффициенты асимметрии и эксцесса помогают выявить форму распределения.

В рассматриваемом регионе наблюдается, например, значительный рост средней годовой температуры с $0,7^\circ\text{C}$ (период 1960–1990 гг.) до $1,8^\circ\text{C}$ (1991–2012 гг.). Изменения осадков варьируются от $+5$ до $+60 \%$ в зависимости от местности и сезона.

2. Многомерный регрессионный анализ. Для количественной оценки влияния факторов климата на деформации геодезических сетей выявлены основные переменные: среднегодовая температура T , уровень осадков P и глубина промерзания грунта F .

Модель регрессии задается в виде

$$D = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 P + \beta_3 F + \epsilon, \quad (4)$$

где D – величина деформации;

β_0 – свободный член;

$\beta_{1,2,3}$ – коэффициенты регрессии, характеризующие влияние каждого фактора;

ϵ – случайная ошибка.

Параметры оценивались методом наименьших квадратов (МНК), минимизируя сумму квадратов отклонений

$$\min_{\beta} \sum_{i=1}^N (D_i - \beta_0 - \beta_1 T_i - \beta_2 P_i - \beta_3 F_i)^2 \quad (5)$$

3. Выбор параметров и кросс-валидация. Для обучения модели используется исторический набор данных по Северо-Востоку России за 1990–2025 годов с данными по температуре, осадкам, глубине промерзания и зарегистрированным деформациям.

Кросс-валидация (например, k -fold с $k = 5$) применялась для оценки устойчивости модели и ее способности к обобщению. Данные разбивались на пять равных частей, поочередно четыре части использовались для тренировки, одна – для теста [8–11].

Оценка метрики качества: коэффициент детерминации R^2 , средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная ошибка (RMSE):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \hat{D}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2}, \quad (6)$$

$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |D_i - \hat{D}_i|, RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_i - \hat{D}_i)^2}, (7)$
 где $\hat{D}_i$ – прогноз модели, $\bar{D}$ – среднее значение наблюдений.

Результаты исследований

Климатические показатели Северо-Востока России до 2025 года представлены в таблице 1.

Анализ климатических данных за последнее десятилетие показал увеличение среднегодовой температуры на 1,5–2 °С с тенденцией к повышению амплитуды сезонных колебаний [8–11].

На основе данных по среднегодовой температуре региона роста от 0,7 до 1,8 °С, увеличению суммарных осадков на 5–60 % и сезонным колебаниям глубины промерзания проводилось построение модели регрессии.

Из таблицы 1 видно, что в период с 2016 по 2025 год в регионе наблюдаются устойчивые изменения климатических параметров. Среднегодовая температура имеет тенденцию к постепенному повышению, что приводит к снижающейся глубине промерзания грунтов. Одновременно растет количество годовых осадков, что влияет на влажность и механические свойства грунта [11–14]. Эти данные создают предпосылки для изменения геотехнических условий территории, что необходимо учитывать при мониторинге и прогнозировании стабильности геодезических сетей и инженерных сооружений [15–16].

Наглядное представление этих тенденций и их взаимосвязи отражено на графиках изменения температуры, осадков и глубины промерзания за указанный период (рис. 1).

Таблица 1 / Table 1

Климатические показатели Северо-Востока России до 2025 года / Climate indicators for Northeast Russia until 2025

Параметр / Parameter	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Коэффициент инсоляции / Insolation coefficient, %	72	74	73	75	76	77	78	79	80	81
Влажность / Humidity, %	65	63	64	66	68	67	66	65	64	63
Давление, гПа / Pressure, hPa	1012	1011	1013	1010	1009	1008	1007	1006	1005	1004
Температура / Temperature, °C	-12,3	-11,8	-11,2	-11,5	-10,9	-10,7	-10,2	-9,9	-9,5	-9,2
Осадки / Precipitation (mm)	450	480	470	490	510	520	530	540	550	560
Глубина промерзания / Freezing depth (cm)	140	138	136	135	132	130	128	125	123	120

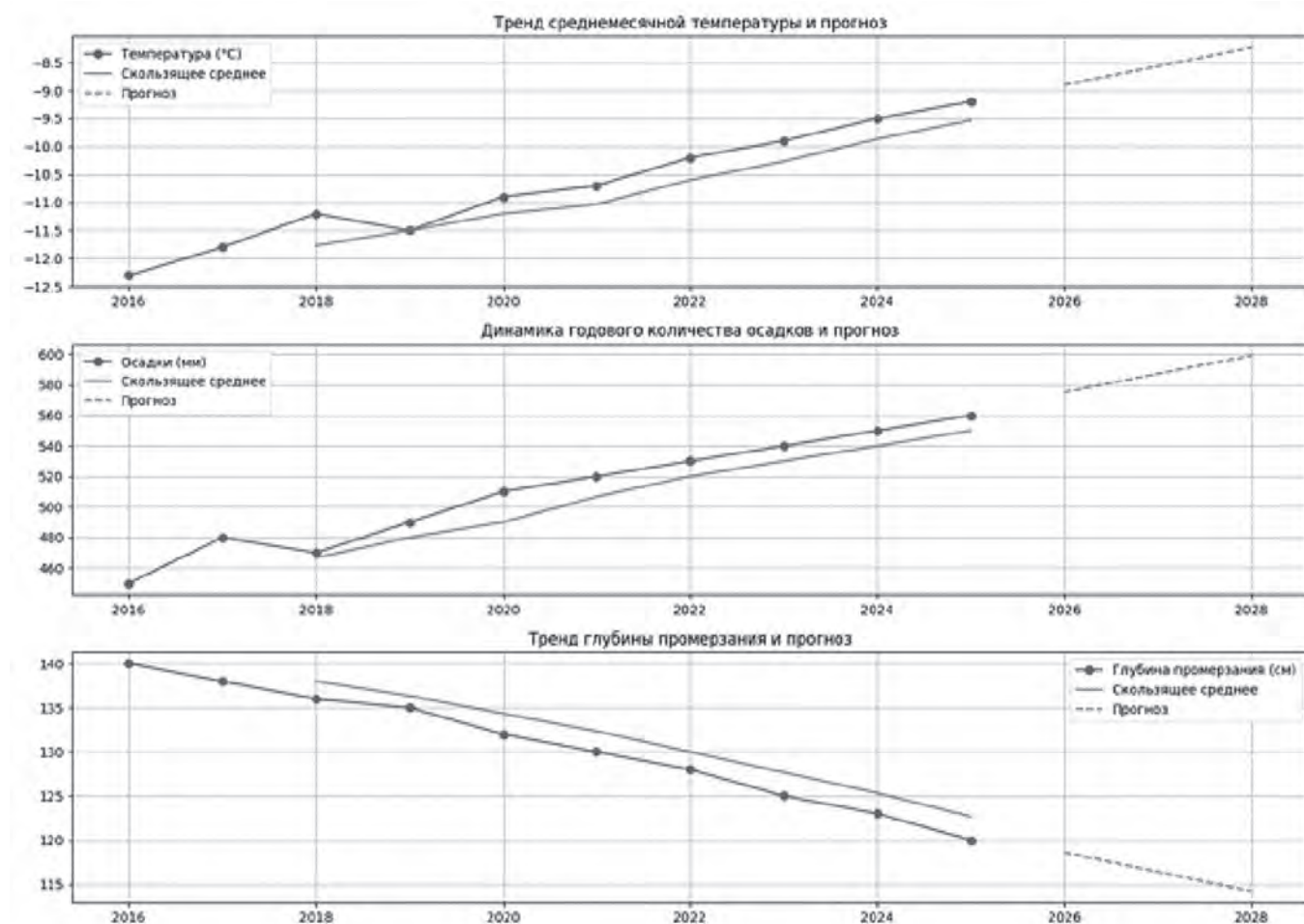


Рис. 1. Тренды климатических параметров (2016–2025 гг.) /
 Fig. 1. Trends of climate parameters (2016–2025)

Тренд среднемесячной температуры воздуха (2016–2025 гг.) показывает устойчивое и значительное потепление региона. Температура повышается практически непрерывно, что совпадает с глобальными тенденциями климатического изменения и сопровождается уменьшением глубины промерзания грунтов. Динамика годового количества осадков за этот же период характеризуется постепенным увеличением. Рост осадков увеличивает влажность почвы и способствует изменению физико-механических свойств грунтов, что в результате может приводить к усилению деформационных процессов.

Тренд глубины промерзания грунта демонстрирует сокращение промерзлого слоя, что связано и с потеплением, и изменением режима осадков. Сокращение глубины промерзания ослабляет морозное пучение, но при этом может ухудшать способность грунта удерживать структурную прочность, что требует дополнительного контроля инженерных объектов. Корреляционная матрица (табл. 2) показывает устойчивые обратные связи между температурой и глубиной промерзания, а также прямую связь глубины промерзания и деформаций, что подчеркивает влияние климатических факторов на стабильность грунтов (рис. 2) [12–15].

Таблица 2 / Table 2
Корреляционная матрица / The correlation matrix

Параметр / Parameter	Температура / Temperature	Осадки / Precipitation	Глубина промерзания / Frost Depth	Деформации / Deformations
Температура / Temperature	1	0,46	-0,97	-0,63
Осадки / Precipitation	0,46	1	-0,45	0,15
Глубина промерзания / Frost Depth	-0,97	-0,45	1	0,63
Деформации / Deformations	-0,63	0,15	0,63	1

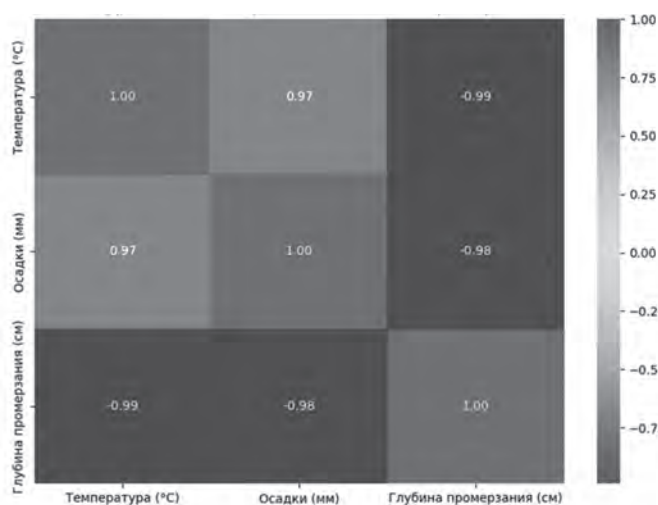


Рис. 2. Корреляционная матрица климатических параметров (2016–2025 гг.) /
Fig. 2. Correlation matrix of climate parameters (2016–2025)

Данные тенденции подтверждаются результатами статистического теста Манна – Кендалла, который указывает на

значимость выявленных климатических трендов, и прогнозами, построенными с использованием методов скользящего среднего и линейной экстраполяции, показывающими сохранение и даже усугубление этих тенденций до 2028 года [16–17].

Величина деформаций геодезических сетей (мм) для анализа представлена данными с сетей мониторинга инфраструктуры региона (рис. 3).

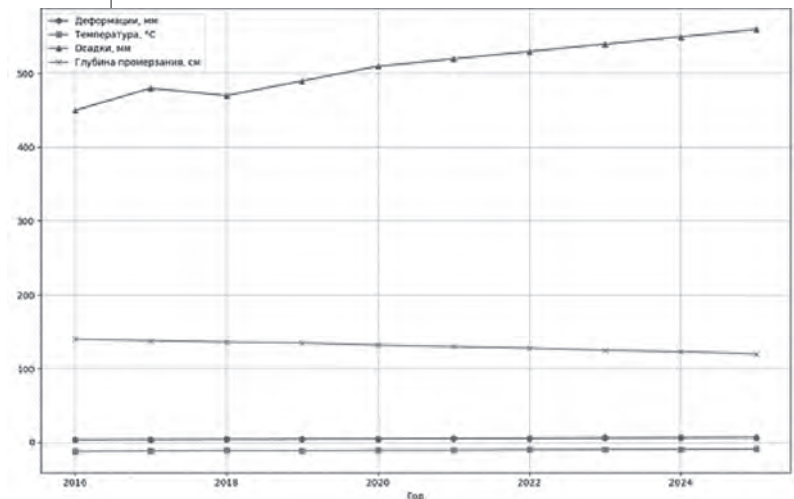


Рис. 3. Динамика деформаций и климатических факторов на Северо-Востоке России /
Fig. 3. Dynamics of deformations and climatic factors in the North-East of the Russian Federation

Эти деформации отражают совокупное влияние климатических факторов, изменений в грунтовых условиях и нагрузки на инженерные сооружения, что важно учитывать при мониторинге и эксплуатационном управлении объектов. Растущие значения свидетельствуют о необходимости внедрения дополнительных мер по контролю и укреплению устойчивости сетей и сооружений [16–17].

Модель показала статистически значимое влияние всех трех факторов с максимальным вкладом изменения температуры (коэффициент $\beta_1 > 0,4$), что отражает важность потепления для активации процессов растворения и пучения грунтов. Осадки и глубина промерзания также существенны для описания сезонных и долгосрочных деформаций.

Эти методы позволили количественно связать наблюдаемые климатические изменения с воздействием на устойчивость инженерных сооружений региона, что открывает перспективы для улучшения мониторинга и адаптивного проектирования.

Модели деформаций продемонстрировали, что сезонные эффекты существенно влияют на верхние слои грунтов с глубиной промерзания до 2 метров, что вызвало увеличение максимальных смещений до 12 мм в пределах геодезических сетей.

Прогноз тренда B по формуле показывает годовое увеличение дополнительной деформации порядка 0,5 мм/год, что может привести к накапливаемым нарушениям точности постройки и контролю инженерных сооружений без своевременного мониторинга и корректирующих мероприятий.

Обсуждение

Результаты исследований подчеркивают необходимость интеграции климатических параметров в системы монито-

ринга геодезических сетей, особенно в суровых климатических регионах Северо-Востока России.

Прогнозные модели позволяют своевременно выявлять зоны риска и планировать инженерные мероприятия по стабилизации грунтов и корректировке сетей. Особенно важна адаптация эксплуатационных нормативов с учетом усиления сезонных и долгосрочных колебаний деформаций.

Заключение

1. В ходе проведенного исследования подтверждена существенная роль климатических изменений в динамике деформаций геодезических сетей и инженерных сооружений на территории Северо-Востока России. Анализ показал, что увеличение среднегодовой температуры и изменений режима осадков оказывает прямое влияние на уменьшение глубины промерзания грунтов, что, в свою очередь, способствует усилению деформационных процессов и снижению устойчивости структур.

2. Многомерное моделирование с использованием климатических параметров продемонстрировало статистически

значимое влияние температуры, осадков и глубины промерзания на величину деформаций, что обосновывает необходимость интеграции климатических факторов в систему мониторинга и управления устойчивостью инженерных объектов региона.

3. Прогнозные модели, основанные на исторических данных и современных методах машинного обучения, позволяют выявлять зоны риска и своевременно принимать меры по стабилизации грунтов и корректировке геодезических сетей, что особенно важно в условиях усиливающихся климатических изменений.

4. Таким образом, результаты исследования подчеркивают необходимость перехода к адаптивным механизмам мониторинга и управления, учитывающим многопараметрические воздействия климата, для обеспечения точности геодезических измерений, безопасности и долговечности инфраструктуры Северо-Востока России. Будущие исследования должны быть направлены на развитие цифровых систем мониторинга с использованием интеллектуальных моделей прогнозирования и автоматических систем реагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Абрамов Д.А., Макарьева О.М., Землянскова А.А., Осташов А.А. и др. Геотемпературный мониторинг криолитозоны Магаданской области 2021–2024 гг.: Тезисы доклада. *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. 2024; 11: 450-456.
Abramov D.A., Makar'eva O.M., Zemlyanskova A.A., Ostashov A.A., et al. Abstract of the report "Geotemperature Monitoring of the Permafrost Zone in the Magadan Region in 2021–2024". *Relief and Quaternary Formations of the Arctic, Subarctic, and North-West of Russia*. 2024; 11: 450-456 (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2024-11-450-456>.
- Веркулич С.Р., Демидов Н.Э., Анисимов М.А. Разработка проекта организации мониторинга многолетнемерзлых грунтов высокоширотной Арктики на базе наблюдательной сети Росгидромета. *Российские полярные исследования*. 2021; 43 (1): 23-27.
Verkulich S.R., Demidov N.E., Anisimov M.A. Development of a project for organizing monitoring of permafrost soils in the high-latitude Arctic based on the observation network of Roshydromet. *Russian Polar Research*. 2021; 43 (1): 23-27. (In Russ.).
- Ефимов В.М., Васильчук Ю.К., Рожин И.И. и др. Моделирование температурного режима грунтовых оснований с сезонно-охлаждающими устройствами в условиях криолитозоны Республики Саха (Якутия). *Арктика и Антарктика*. 2017; 4: 86-97.
Efimov V.M., Vasilchuk Yu.K., Rozhin I.I., et al. Modeling the Temperature Regime of Soil Foundations with Seasonal Cooling Devices in the Cryolithozone of the Sakha Republic (Yakutia). *Arctic and Antarctic*. 2017; 4: 86-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2017.4.25036>.
- Куштин В.И., Ревякин А.А., Соколова В.А. и др. Современные методы мониторинга деформаций зданий и сооружений. *Инженерный вестник Дона*. 2020; 11 (71): 27-37.
Kushtin V.I., Revyakin A.A., Sokolova V.A., et al. Modern Methods of Monitoring Deformations of Buildings and Structures. *Engineering Bulletin of the Don*. 2020; 11 (71): 27-37. (In Russ.).
- Макарьева О.М., Землянскова А.А., Абрамов Д.А. и др. Региональная система мониторинга многолетнемерзлых пород Магаданской области. *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. 2023; 10: 192-195.
Makar'eva O.M., Zemlyanskova A.A., Abramov D.A., et al. Regional Monitoring System of Permafrost in the Magadan Region. *Relief and Quaternary Formations of the Arctic, Subarctic, and North-West of Russia*. 2023; 10: 192-195. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-192-195>.
- Melnikov V.P., Osipov V.I., Bruchkov A.V., et al. Past and Future of Perma-frost Monitoring: Stability of Russian Energetic Infrastructure. *Energies*. 2022; 15 (9): 3190. <https://doi.org/10.3390/en15093190>.
- Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В. Оценка возможности и точности применения GNSS-систем для мониторинга деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. 2016; 4: 15.
Nesterenko M.Yu., Tsyvak A.V. Assessment of the Possibility and Accuracy of Using GNSS Systems for Monitoring Earth Surface Deformations at Hydrocarbon Deposits under Development. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016; 4: 15. (In Russ.).
- Нестеренко Ю.М., Цвяк А.В., Нестеренко М.Ю. Методические основы геодинамического мониторинга с использованием глобальных навигационных спутниковых систем. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. 2017; 4: 10.
Nesterenko Yu.M., Tsyvak A.V., and Nesterenko M.Yu. Methodological Foundations of Geodynamic Monitoring Using Global Navigation Satellite Systems. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2017; 4: 10. (In Russ.).
- Шевчук Р.В., Маневич А.И., Акматов Д.Ж. и др. Современные методы, методики и технические средства мониторинга движений земной коры. *Горная промышленность*. 2022; 5: 99-104.
Shevchuk R.V., Manevich A.I., Akmatov D.Zh., et al. Modern Methods, Techniques, and Technical Means of Monitoring Earthquake Movements. *Mining Industry*. 2022; 5: 99-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-99-104>.
- Юров Ф.Д. Особенности организации мониторинга линейных транспортных систем в криолитозоне. *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы Семнадцатой общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 29 ноября – 02 декабря 2022 года*. Москва, 2022: 234-242.

- Yurov F.D. Features of the organization of monitoring of linear transport systems in the permafrost zone. *Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation: Materials of the Seventeenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Surveying Organizations, Moscow, November 29 – December 02, 2022*. Moscow, 2022: 234-242. (In Russ.).
11. Harmening C., Neuner H. A spatio-temporal deformation model for laser scanning point clouds. *Journal of Geodesy*. 2020; 94 (2): 26. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01352-0>.
12. Jahr T. Non-tidal tilt and strain signals recorded at the Geodynamic Observatory Moxa, Thuringia / Germany. *Geodesy and Geodynamics*. 2018; 9 (3): 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.03.015>.
13. Jahr T., Kroner C., Lippmann A. Strainmeters at Moxa observatory, Germany. *Journal of Geodynamics*. 2006; 41 (1-3): 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2005.08.017>.
14. Liu L., Schaefer K., Zhang T., et al. Recent Warming Degradation of Permafrost in the Northern Hemisphere: A Multi-Model Assessment. *The Cryosphere*. 2021; 15: 1-25.
15. Makarieva O.M., Zemlianskova A., Abramov D., et al. Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia). *Geosciences*. 2024; 14: 88. <https://doi.org/10.3390/geosciences14040088>.
16. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: Potential economic impacts on public infrastructure by 2050. *Natural Hazards*. 2022; 112(1): 231-251. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05179-6>.
17. Telling J., Lyda A., Hartzell P., et al. Review of Earth science research using terrestrial laser scanning. *Earth-Science Reviews*. 2017; 169: 35-68. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.007>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вероника Владимировна Арно –

канд. техн. наук, доцент, Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, 685030, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: vvnika@mail.ru

Ева Павловна Колесниченко –

студентка направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит», ВШГА МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Ирина Юрьевна Гарифулина –

ст. преподаватель кафедры геологии и горного дела. Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, 685030, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Иван Дмитриевич Долбин –

студент направления подготовки направления «Горное дело», Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, 685030, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: dolbinivan42@gmail.com

Критерии авторства:

В. В. Арно, Е. П. Колесниченко – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; И. Ю. Гарифулина – оценка результатов и коррекция написанной работы; И. Д. Долбин – выборка и сбор материала для исследований.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.10.2025

Поступила после рецензирования: 13.11.2025

Принята к публикации: 17.11.2025

ABOUT THE AUTHORS

Veronika V. Arno –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Northeastern State University, Polytechnic Institute, 685030, Magadan, Russian Federation; e-mail: vvnika@mail.ru

Eva P. Kolesnichenko –

Student of the Field of Training "State and Municipal Audit", Higher School of Economics, Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russian Federation; e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Irina Yu. Garifulina –

Senior Lecturer of the Department of Geology and Mining. Northeastern State University, Polytechnic Institute, 685030, Magadan, Russian Federation; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Ivan D. Dolbin –

Student of the Mining Department, North-Eastern State University Polytechnic Institute, 685030, Magadan, Russian Federation; e-mail: dolbinivan42@gmail.com

Contribution:

V. V. Arno., E.P. Kolesnichenko – research idea, formulation of the conflict between the current paradigm and new facts, and writing a scientific paper; I. Yu. Garifulina – evaluation of the results and correction of the written work; I. D. Dolbin – selection and collection of research materials.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 18.10.2025

Revised: 13.11.2025

Accepted: 17.11.2025