

Е. И. Колесникова^{1}, И. Е. Дорогова¹*

Изучение геодинамики урбанизированных территорий с использованием сетей дифференциальных геодезических станций

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

* e-mail: Kolesnikova.ekaterina_11b_klas@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено покрытие субъектов Российской Федерации сетями дифференциальных геодезических станций, и возможности использования результатов измерений на этих станциях для геодинимических исследований урбанизированных территорий. Изучены крупнейшие операторы сетей базовых станций, а также региональные сети дифференциальных геодезических станций. Определена потребность в станциях на территории Российской Федерации для исследований деформаций земной коры городов и близлежащих территорий. Рассмотрены самые сейсмоопасные зоны страны и перечислены города, рядом с которыми находятся самые крупные геологические разломы на территории Российской Федерации. Даны рекомендации по использованию данных геодезических пунктов для исследований геодинамики близ урбанизированных территорий. Продемонстрированы возможности усовершенствования региональных сетей дифференциальных станций для решения задач геодинамики с использованием информации о местах нахождения геологических разломов.

Ключевые слова: Сеть дифференциальных станций, геологические разломы, ГНСС-наблюдения, геодинамика, деформации земной коры, движения земной коры

E. I. Kolesnikova^{1}, I. E. Dorogova¹*

Studying the geodynamics of urbanized areas with using networks of differential geodetic stations

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

* e-mail: Kolesnikova.ekaterina_11b_klas@mail.ru

Abstract. The article considers the coverage of the subjects of the Russian Federation by networks of differential geodetic stations and the possibility of using the measurement results at these stations for geodynamic studies of urbanized territories. The largest operators of base station networks, as well as regional networks of differential geodetic stations, have been studied. The need for stations on the territory of the Russian Federation to study the deformations of the Earth's crust of the territories of cities and nearby territories has been determined. Observations on the location of stations in the most earthquake-prone zones of the country have been studied and the cities next to which the largest geological faults on the territory of the Russian Federation are located are listed. Recommendations on the use of geodetic data points for geodynamic studies near urbanized areas are given. The possibilities of improving regional networks of differential stations for solving geodynamic problems using information about the locations of geological faults are demonstrated.

Keywords: Network of differential stations, geological faults, GNSS observations, geodynamics, crustal deformations, crustal movements

Введение

Спутниковые дифференциальные станции удаленно управляются специальным программным обеспечением, которое формирует дифференциальные поправки для работы в режиме RTK и данные для постобработки и передачи потребителям по различным каналам связи [1].

Дифференциальная геодезическая станция – электронное устройство, размещенное на точке земной поверхности с определенными координатами, выполняющее прием и обработку сигналов спутниковых навигационных систем, и, обеспечивающее передачу информации, необходимой для повышения точности определения координат в результате выполнения геодезических работ с использованием спутниковых навигационных систем [2].

Исследования движений, которые происходят на земной поверхности, по данным геодезических измерений способствуют выявлению активных геологических блоков и структур, идентификации тектонических разломов, что, в свою очередь, позволяет моделировать системы техногенного или природного происхождения, прогнозировать местоположения потенциальных сейсмических событий и принимать меры для сохранения безопасности [3-7]. При этом использование сетей постоянно действующих станций позволяет получать часть геодезической информации, необходимой для проведения геодинамических исследований, в непрерывном мониторинговом режиме, что делает данные более информативными и перспективными с точки зрения интерпретации.

Анализ покрытия Российской Федерации сетями дифференциальных геодезических станций

В России и на сопредельных территориях функционирует несколько крупнейших операторов сетей базовых референционных станций: Leica SmartNet Russia [8] – в 64 регионах (в приоритете юго-западная часть страны); сеть референционных станций «ПРИН» [9] – в отличие от SmartNet Russia охватывает и более северные регионы, такие как Север Красноярского края (Норильск и Дудинка), и, в целом, имеет больше пунктов в этой части страны, а также больше пунктов на востоке – Читинская область, Амурская область, Хабаровский край, Приморский край, Камчатский край, Чукотский автономный округ; NIVE [10] – источник спутниковых измерений с базовых станций, позволяющий начать работать в RTK или быстро скачать RINEX-файлы из 79 регионов России; EFT-CORS [11, 12] – активно растущая сеть дифференциальных станций, в 2022 году добавились еще 47 станций и 8 новых регионов в ФФПД (Роскадастр с 2023 года) [12].

Сеть референционных станций EFT-CORS имеет более плотное покрытие пунктами, чем предыдущие, и находится на 83 субъектах России и имеет более 650 станций на текущий период времени. На стадии сдачи в Федеральный фонд пространственных данных находятся 83 станции и 7 новых регионов (Приморский край, Кемеровская область, Воронежская область, Тамбовская область, Иркутская область, Республика Алтай, Амурская область) [11, 12].

Также на территории Российской Федерации действует множество локальных и региональных сетей референцных станций: UGTNET (ООО «УГТ-Холдинг») [13], «Поволжье» (ООО «ГРАДИЕНТ») [14], ГЕОСПАЙДЕР (Санкт-Петербург и Ленинградская область) [15, 16], «Курай» (Республика Башкортостан) [17] и многие другие.

Таким образом, все урбанизированные территории России обеспечены дифференциальными геодезическими станциями, и их количество регулярно пополняется. Из этого следует, что можно получить данные в формате RINEX из каждого региона страны, используя станции различных сетей.

Исследование деформаций урбанизированных территорий

Наибольшие риски для человечества несут деформационные процессы, происходящие в недрах Земли, которые проистекают в урбанизированных районах, так как в случае катастроф может погибнуть большое количество людей.

Наблюдение за геодинамикой в пунктах, находящихся в непосредственной близости от крупных населенных пунктов необходимо для изучения рельефа территории на склонность к деформациям земной коры. Это важно при оценочных работах на предмет безопасности строительства и стабильности зданий, сооружений и иной инфраструктуры в городских агломерациях.

Исследование деформаций способствует раннему выявлению проблем в городской инфраструктуре, и помогает строителям и геологам правильно спланировать такие объекты как: дороги, мосты, трубопроводы. Так как деформации земной коры могут быть значительными по своему воздействию – необходимо снизить риски разрушения данных объектов и располагать их в наиболее безопасных для этого местах, т.е. не подверженных изменениям земной коры. Анализ деформаций коры может предоставить информацию для разработки более эффективных городских планов развития и строительства.

При разработке месторождений, всегда происходит видоизменение природного ландшафта местности, что ведет к дальнейшим деформациям земной коры и может влиять на геологические процессы, происходящие на Земле и в её недрах, также данные изменения влияют на залегание подземных, грунтовых вод. Поэтому, во избежание критических разрушений территорий необходимо наблюдать за такими деформациями, ведь разработки могут находиться в непосредственной близости с урбанизированными территориями.

Весомое влияние на деформации несут геологические разломы и придают территории статус «сейсмоопасной». Геологический разлом, или разрыв – общее название многих видов тектонических нарушений, сопровождаемых перемещением разорванных частей геологических тел относительно друг друга. Крупные разломы земной коры являются результатом сдвига тектонических плит на их стыках. В зонах активных разломов часто происходят землетрясения как результат выброса энергии во время быстрого скольжения вдоль линии разлома. Так как чаще всего разломы состоят не из единственной трещины или разрыва, а из структурной зоны однотипных тектонических деформаций, которые ассоциируются с плоскостью разлома, то такие зоны называют зонами разлома [18].

Самые крупные геологические разломы в России находятся на пересечении Камчатского края и Чукотского автономного округа; на Камчатском полуострове; пересечении территорий Магаданской области и Республики Саха (Якутии); пересечении Амурской области, Республики Саха (Якутии) и Хабаровского края; пересечении Алтайского края, Кемеровской области, Республики Хакасия, Красноярского края и республики Тывы; на всей территории Западно-Сибирской Плиты (Красноярский край вдоль течения Енисея; пересечение ЯНАО – ХМАО; пересечении Тобольской, Омской и Новосибирской областей; пересечении Ханты-Мансийского автономного округа и Свердловской области); пересечении Ненецкого автономного округа, Республики Коми и Архангельской области; на территории республики Коми; пересечении Ростовской области, Волгоградской области, Республики Калмыкия, Астраханской области; пересечении Ростовской области, Республики Дагестан и Республики Калмыкия. Для этих регионов есть необходимость в наличии сетей базовых станций для того, чтобы иметь возможность получать данные о деформациях земной коры и управлять возможными рисками обрушений. Вблизи разломов находятся города: Петропавловск-Камчатский, Алдан, Андрюшкино, Оленегорск, Среднеколымск, Магадан, Тында, Комсомольск-на-Амуре, Благовещенск (Амурская область), Хабаровск, Красноярск, Барнаул, Новокузнецк, Абакан, Кызыл, Кемерово, Омск, Новосибирск, Ханты-Мансийск, Сургут, Дудинка, Игарка, Норильск, Ноябрьск, Новый Уренгой, Приобье, Серов, Тобольск, Ухта, Сыктывкар, Ростов-на-Дону, Волгоград, Элиста, Махачкала.

Результаты

Сопоставляя урбанизированные территории, подверженные потенциальному риску геодинамической опасности с расположением дифференциальных геодезических станций, можно прийти к выводу, что на сегодняшний день плотность размещения станций на урбанизированных территориях позволяет использовать результаты их наблюдений для решения задач локальной геодинамики. Однако, помимо плотности для получения наиболее информативной картины распределения деформационных характеристик, желательно, соблюдать определенные особенности расположения геодезических станций относительно геологических разломов изучаемой территории. Одной из наиболее эффективных форм геодезических построений при решении такого рода задач является геодезический четырехугольник. Рассмотрим несколько примеров возможного совершенствования сетей дифференциальных геодезических станций с целью увеличения информативности результатов геодинамических исследований.

На рис. 1 представлены результаты определения компонент деформации земной коры по результатам спутниковых геодезических измерений, выполненных на дифференциальных станциях республики Татарстан.

Наиболее выраженные деформации сосредоточены в северо-восточной части изучаемой территории, в этой области пересекаются два геологических разлома, соответственно северо-восточная часть территории Республики Татарстан требует более детального изучения, на рис. 2 приведены рекомендации по заложению до-

полнительных пунктов сети дифференциальных станций. Места расположения пунктов выбирались таким образом, чтобы организовать дополнительные геодезические четырехугольники, проходящие через геологические разломы.

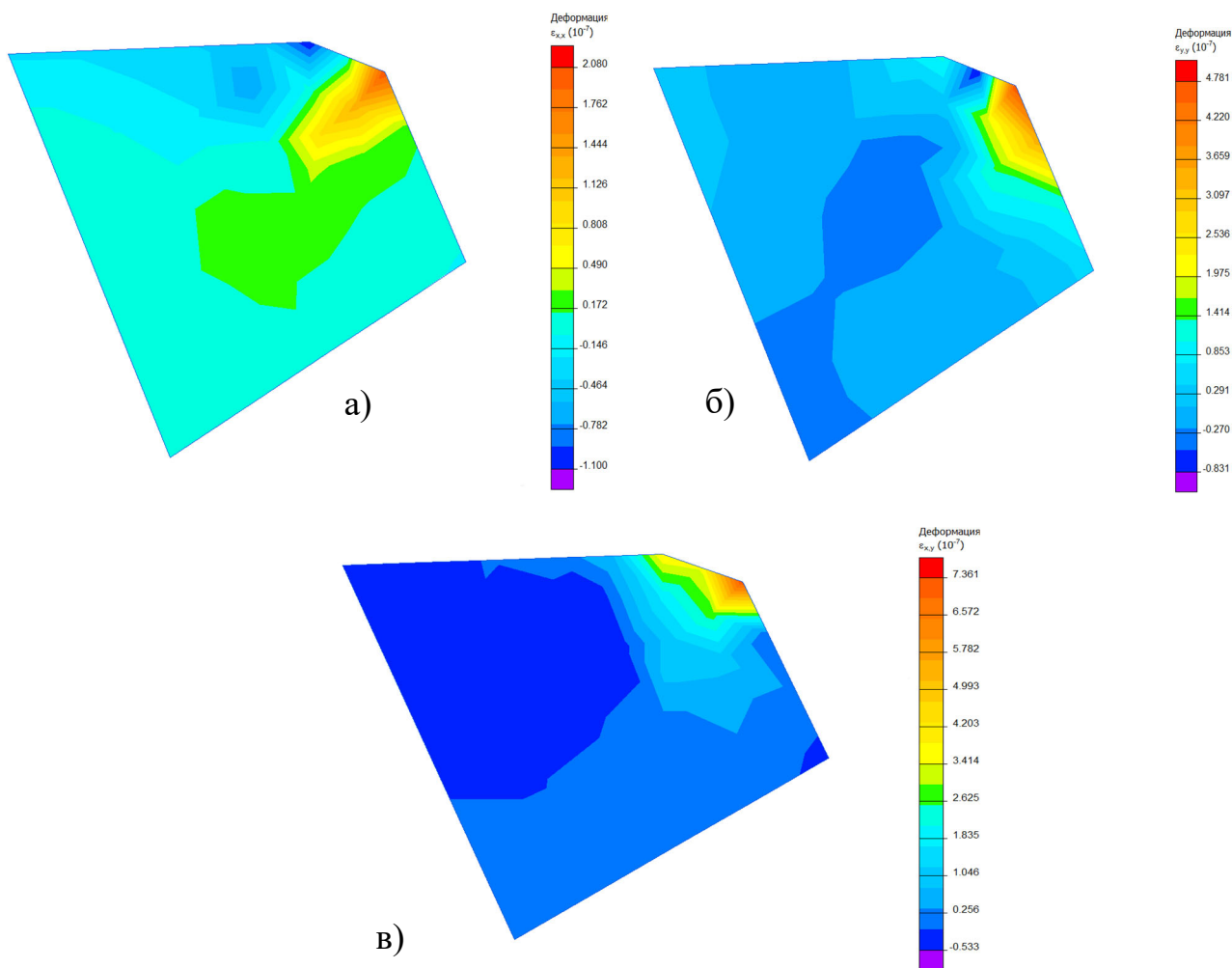


Рис. 1. Поле распределения деформаций земной коры Республики Татарстан: а) вдоль оси x ; б) вдоль оси y ; в) сдвиговой деформации $xу$

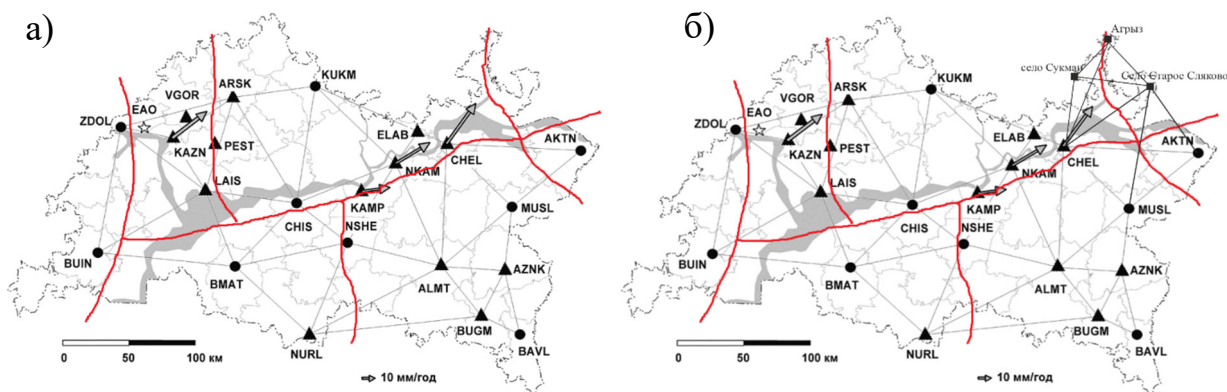


Рис. 2. Схема ГНСС-сети республики Татарстан: а) текущее расположение станций; б) с рекомендованными для установки дополнительными станциями

Аналогичные исследования выполнены для территории республики Башкортостан, предложения по усовершенствованию сети с целью повышения информативности результатов измерений для геодинамических исследований приведены на рис. 3.

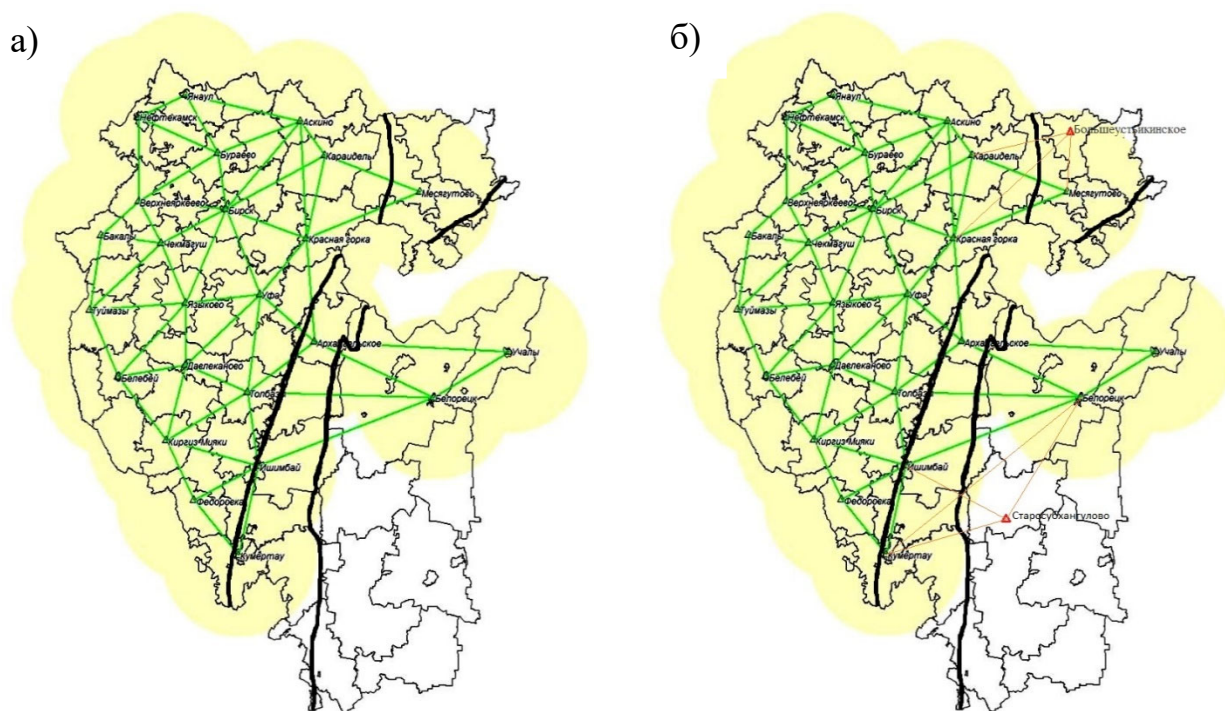


Рис. 3. Схема ГНСС-сети республики Башкортостан: а) текущее расположение станций; б) с рекомендованными для установки дополнительными станциями

В текущей работе выяснено расположение крупных геодезических сетей в России и получена информация о местах нахождения геологических разломов.

Выводы

Подводя итог выше сказанному, технологию исследования процессов геодинамики с применением геодезических пунктов дифференциальных станций рекомендуется использовать для понимания и изучения движения и деформаций Земли, а также процессов, связанных с геологическими структурами и феноменами, такими как землетрясения, вулканизм, поднятие и опускание земной коры и другими геологическими явлениями. Анализ деформаций земной коры помогает всем заинтересованным получить информацию о прошлых и текущих процессах, происходящих в недрах Земли, а также прогнозировать будущие изменения в геологической среде. Эта технология используется в различных областях, включая экологию, геофизику, сейсмологию, геологию, геодезию, геоинформатику и многие другие.

Таким образом, наиболее рациональным способом проведения геодинамических исследований на урбанизированных территориях, на наш взгляд, является организация многоуровневой системы мониторинга, первым уровнем которой

является сеть дифференциальных геодезических станций, усовершенствованная с учетом геологических особенностей территории, вторым уровнем – геодинамические полигоны, организованные на отдельных геологических структурах, требующих более детального изучения движений и деформаций земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. GNSS EXPERT : Информационный ресурс по технологиям высокоточного позиционирования с использованием Глобальных Спутниковых Навигационных Систем (ГНСС) [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : https://gnss-expert.ru/?page_id=443 (Дата обращения : 12.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

2. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Дорогова И. Е. Выявление блоковой структуры области земной коры, испытывающей горизонтальные движения вращательного характера / И. Е. Дорогова // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 36-39.

4. Дорогова И. Е. Влияние выбора исходных пунктов на результаты уравнивания повторных геодезических измерений / И. Е. Дорогова // Интерэкспо Гео-Сибирь 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 209-213.

5. Дорогова И. Е. Интерпретация наблюдений за движениями земной коры на техногенном полигоне / И. Е. Дорогова // Гео-Сибирь 2011. – Т. 1. – № 1. – С. 191-195.

6. Панжин А. А. Применение исходных данных постоянно действующих станций для геодинамического районирования / А. А. Панжин, Н. А. Панжина // «Известия вузов. Горный журнал». – 2021 – № 1. – С. 54-62. – DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-54-62.

7. Дорогова И. Е., Колесникова Е. И. Использование сетей постоянно действующих референционных станций для геодинамических исследований территорий субъектов Российской Федерации // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сборник материалов VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной празднованию 90-летия НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ, 23–25 ноября 2022 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. – 27-32. – DOI 10.33764/2687-041X-2023-3.

8. SmartNet : Сеть референционных базовых станций [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : <https://smartnetrtk.ru/> (Дата обращения : 18.10.2023). – Режим доступа : после регистрации.

9. АО «ПРИН» PrinNet : Сеть базовых станций PrinNet [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : https://www.prin.ru/seti_referencyh_stancij/prinnet/ (Дата обращения : 19.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

10. HIVE : Источник спутниковых измерений с базовых станций [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL <https://hive.geosystems.aero/> (Дата обращения : 20.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

11. EFT-CORS : Сеть в компании Аспект [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : <https://www.aspector.ru/category/eft-cors-spider/> (Дата обращения : 19.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

12. CORS : Сеть базовых станций CORS [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : <https://eft-cors.ru/> (Дата обращения : 19.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

13. ООО "УГТ-ХОЛДИНГ" : Сеть базовых станций [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : https://ugt-holding.ru/reference_stations_ugt-holding/ (Дата обращения : 19.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

14. ГРАДИЕНТ : Базовые Станции Поволжья [Электронный ресурс]. – 2012 – Текст : электронный // URL : <http://oogradient.ru/stancii-povoljiya/> (Дата обращения : 18.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.
15. ГЕОСПАЙДЕР : Уникальная спутниковая сеть дифференциальных (базовых / опорных / референсных) геодезических станций [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : <http://geospider.ru/> (Дата обращения : 20.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.
16. GEOBRIDGE : web-проект [Электронный ресурс]. – 2023 – Текст : электронный // URL : <https://geobridge.ru/netrbs/> (Дата обращения : 20.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.
17. Применение GPS-технологий для геодинамического мониторинга природно-технических систем. – Текст : электронный // URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gps-tehnologii-dlya-geodinamicheskogo-monitoringa-prirodno-tehnicheskikh-sistem/viewer> (дата обращения : 16.05.2022). – Режим доступа : после регистрации.
18. Баранова Я.Ю., Андреева Н.В. Тектонические разломы земной поверхности // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL : <https://scienceforum.ru/2017/article/2017030193> (дата обращения: 24.10.2023). – Режим доступа : общий доступ.

© Е. И. Колесникова, И. Е. Дорогова, 2024