

УДК 622.83:[528.2:629.78]

Панжин Андрей Алексеевич

кандидат технических наук,
ученый секретарь,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58
e-mail: panzhin@igduran.ru

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНОЙ И
ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ
КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА****Аннотация:*

Приведены методика и результаты экспериментального исследования современных геодинамических движений горнопромышленной территории Кузнецкого угольного бассейна, характеризующейся беспрецедентными объемами извлекаемых из недр полезных ископаемых, что приводит к проявлению сейсмической активности, вызванной техногенным влиянием горнодобывающих объектов. Приведена методика инструментальных исследований постсейсмических сдвижений и деформаций техногенно измененного породного массива на больших пространственно-временных базах, включающая как определение суточных амплитуд изменений координат по трем осям координат – амплитудной и трендовой составляющих до, между сериями и после техногенных сейсмических событий, так и распределения горизонтальных сдвижений и деформаций массива горных пород путем сопоставления цикловых координат, полученных в результате уравнивания геодезической GNSS сети.

Ключевые слова: современные геодинамические движения, техногенное землетрясение, геологические структуры, напряженно-деформированное состояние, векторное поле сдвижений, тензорное поле деформаций.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.01.102

Panzhin Andrey A.

Candidate of Technical Sciences,
Scientific Secretary,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: panzhin@igduran.ru

**STUDYING THE NATURAL
AND TECHNOGENIC SEISMICITY
OF THE KUZNETSK COAL BASIN***Abstract:*

The article presents the methodology and results of an experimental study of current geodynamic movements of the mining territory of the Kuznetsk coal basin, characterized by unprecedented volumes of minerals extracted from the subsoil, which leads to the manifestation of seismic activity caused by the manmade influence of mining facilities. The methodology of instrumental studies of postseismic shifts and deformations of a technogenically altered rock mass on large spatial and temporal bases is presented, including both the determination of daily amplitudes of coordinate changes along three coordinate axes – amplitude and trend components before, between series and after technogenic seismic events, and the distribution of horizontal shifts and deformations of a rock mass by comparing cyclic coordinates, obtained as a result of equalization of the geodetic GNSS network.

Key words: current geodynamic movements, manmade earthquake, geological structures, stress-strain state, vector field of displacements, tensor field of deformations.

Введение

В связи с развитием природно-технических систем и усложнением горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых возникает необходимость оценки степени защищенности горнопромышленных территорий и прогноза опасных процессов в недропользовании на основе данных геоинформационного и геодинамического (геомеханического) мониторинга с оценкой состояния горных предприятий и горнопромышленных территорий как природно-технических систем.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР, тема 3 (2022-2024), (FUW-2022-0005), рег. № 1021062010531-8-1.5.1.

Одним из методов исследований в данном направлении является наполнение, анализ и структурирование базы данных современных геодинамических движений и деформаций на горнопромышленной территории, на которой произошло техногенное землетрясение, деформационную картину которого возможно построить с использованием геодеформационных методов, позволяющих определить параметры современных геодинамических движений и их производных, таких как тензорное поле деформаций, дивергенцию и ротор поля.

В качестве объекта для исследований выбран район Кузнецкого угольного бассейна, который характеризуется беспрецедентными объемами извлекаемых из недр полезных ископаемых. Всего за годы интенсивного освоения этого уникального и богатейшего района Сибири добыча угля составила, по разным оценкам, 13 – 15 млрд т. [1 – 2], кроме этого, в Кузбассе ежегодно из естественно-геологической среды извлекается, перемещается и складировается на земной поверхности до 400 млн м³ горной массы. Перемещение крупных объемов природных ископаемых на протяжении последних десятилетий изменяет геологическую среду региона, нарушает стабильность и равновесное состояние его недр. В работе [3] установлено, что продолжительное воздействие горных работ на крупнейшие сейсмогенные структуры Алтае-Саянского сейсмоактивного региона инициируют их проявления вокруг промышленных зон, повышают фоновую сейсмичность недр как отклик на происходящие в Кузбассе масштабные техногенные процессы.

Крупнейшие сейсмические события, зарегистрированные в Кузбассе, в XX веке, в период активного наращивания объемов добычи угля, а также характер пространственного группирования очагов вокруг крупнейших промышленных центров бассейна подтверждают техногенное влияние горнодобывающих объектов на проявление сейсмической активности региона.

Повышение сейсмической активности в районах интенсивной разработки полезных ископаемых Кузбасса неоднократно отмечалось в отчетах Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» [4 – 8]. С помощью анализа графиков повторяемости сейсмических событий, их распределения по времени в течение рабочей недели и расположения эпицентров установлено, что сейсмичность Кузбасса начиная с 60-х годов прошлого века носит сложный природно-техногенный характер. С конца 80-х годов природно-техногенная сейсмичность переходит в стадию, характеризующуюся роевыми потоковыми проявлениями сейсмических событий низкого энергетического класса и мощными неглубокими землетрясениями в районах высокой концентрации горных работ, прежде всего вблизи глубоких карьеров [9].

Самым ярким событием этого типа стало землетрясение 19.06.2013 с магнитудой $M = 5.2$ около разреза «Бачатский». Установлено, что природно-техногенная активность в большой мере связана с глубинными разломами, относительно слабо проявленными в верхнем слое земной коры и рельефе местности, что свидетельствует об ускорении их прорастания на поверхность под воздействием техногенных факторов. После Бачатского техногенного землетрясения большое внимание стало уделяться развитию сети сейсмостанций Кузбасса, позволяющей фиксировать не только крупные сейсмические события, но и события средней и малой энергетики. К 2015 г. сеть была дополнена новыми сейсмостанциями [10 – 11]. В дальнейшие годы проводился непрерывный мониторинг и фиксация сейсмических событий Кузбасса, в том числе связанной с природной сейсмической активностью региона и масштабным ведением горных работ [12 – 13].

В настоящее время в регионе ведется непрерывный сейсмологический мониторинг с целью изучения природно-техногенной сейсмичности Кузбасса, Горной Шории и всего Алтае-Саянского региона. Это привело к развитию в регионе многоуровневой сети сейсмостанций, включающей телеметрические международные, региональные и

локальные (рис. 1), результаты измерений которой позволяют с высокой степенью точности фиксировать место, глубину, магнитуду природных и техногенных сейсмических событий, а также, на уровне горнопромышленных предприятий – уровне локального сейсмомониторинга, фиксировать события слабой энергетики в основном с целью предупреждения горных ударов и наблюдения за сдвижением горных пород и устойчивостью бортов карьеров, то есть на локальных масштабных уровнях.

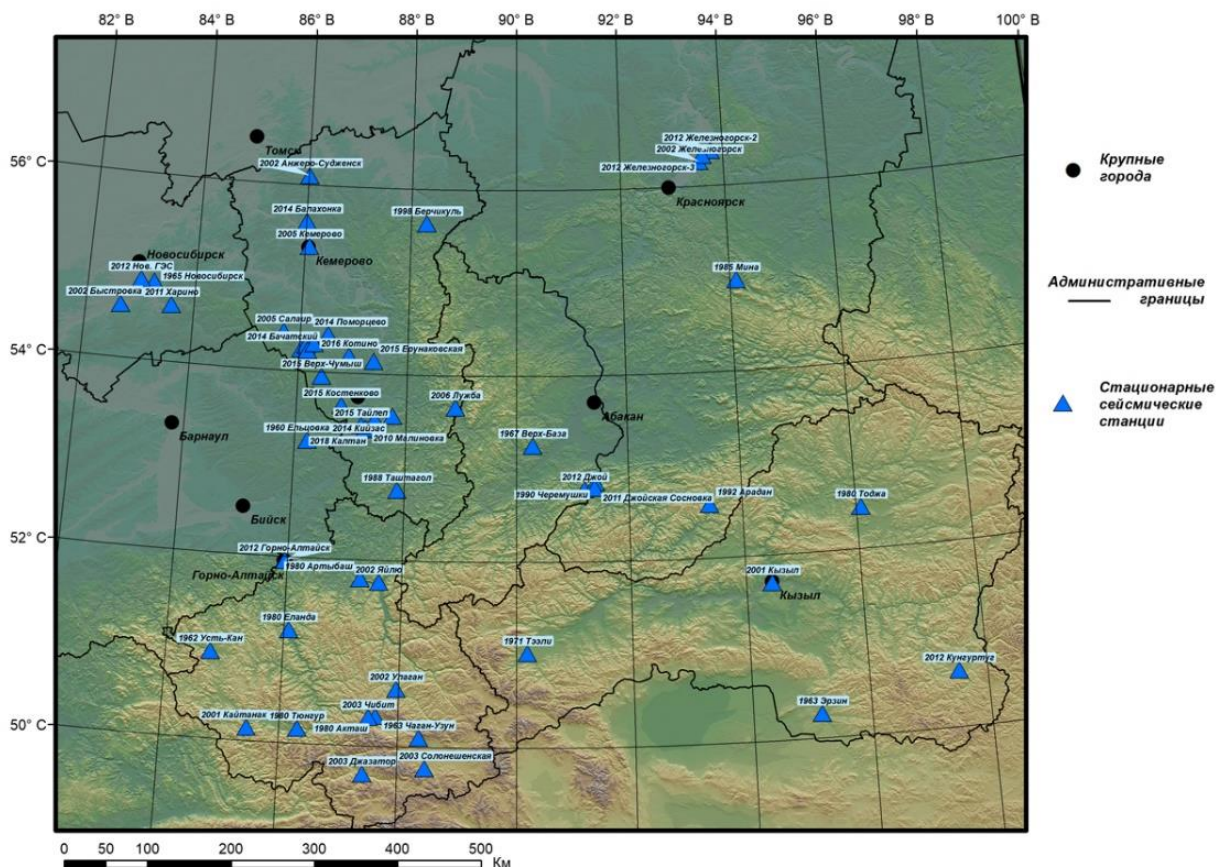


Рис. 1. Современное состояние Алтае-Саянской сети сейсмических станций

К сожалению, для территории Кузбасса отсутствуют фактические данные о современных геодинамических движениях верхней части земной коры, поскольку станции геодезического (традиционного и ГНСС мониторинга) появились значительно позже, плотность их размещения была невысокой, удаленность большая. Тем не менее рядом исследователей предварительно прорабатывался вопрос оценки величин и скоростей современных геодинамических движений по данным инструментальных маркшейдерско-геодезических измерений [14 – 19].

Методика исследований

В августе 2021 г. на Кузбассе зафиксировано достаточно крупное техногенное землетрясение [20 – 22]. Сейсмическое событие магнитудой $M = 4.9$ произошло 12.08.2021 недалеко от н.п. Кыргай, где ведется добыча угля открытым способом, размещаются отвалы (рис. 2).

На указанную дату в районе сейсмического события, кроме данных сейсмологического мониторинга, доступны данные постоянно действующих ГНСС станций региона, по которым возможно получение информации о напряженно-деформированном состоянии массива – до сейсмического события, во время его и после сейсмического события.

Для исследования постсейсмических деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах предлагается методический подход, использованный при диагностике изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск в сентябре 2018 г. Исходные данные были получены в результате исследования региональной геодинамики с использованием исходных данных постоянно действующих станций Global Navigation Satellite System (GNSS) Урала [23 – 24].



Рис. 2. Местоположение эпицентра сейсмического события в районе н.п. Кыргай

В связи с произошедшим 12.08.2021 техногенным землетрясением поставлен эксперимент с целью диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе н.п. Кыргай. Размеры района исследований составляют 150×150 км (рис. 3). В эксперименте задействованы 9 постоянно действующих GNSS станций указанного района, при этом используются накопленные станциями данные в формате RINEX. Камеральная обработка производится в пакетах программного обеспечения Bernese Software (методом Precise Point Positioning PPP) и Waypoint

GrafNet (методом Double Difference DD) с определением пространственных координат пунктов по каждой суточной серии. Была сделана выборка исходных данных за период с 30.07.2021 по 15.02.2022 для фиксации движений и деформаций до, во время и после землетрясения.

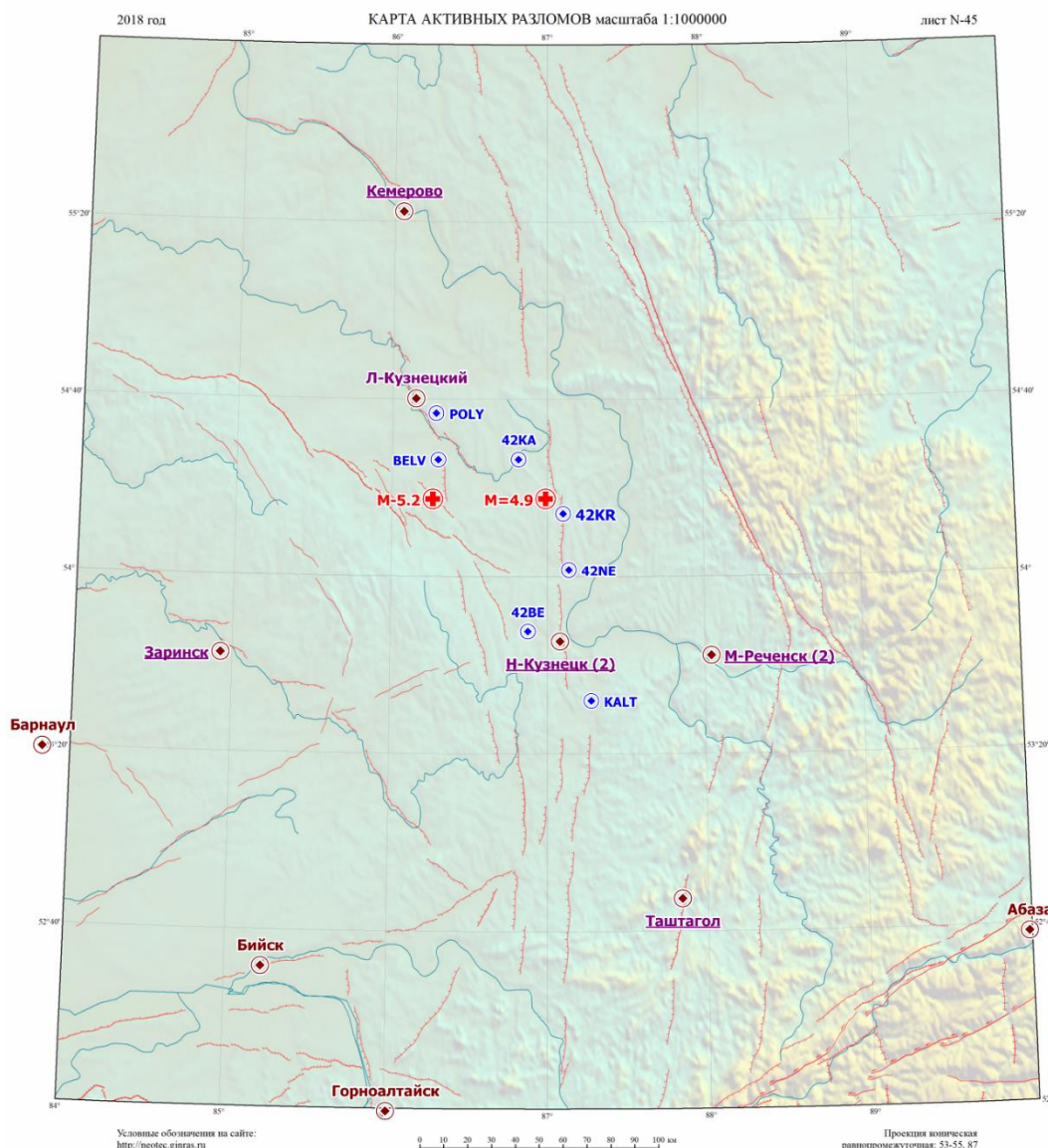


Рис. 3. Схема расположения пунктов GNSS сети для исследования движений и деформаций

Программа эксперимента включает:

- определение абсолютных координат пунктов и их изменения по осям координат ежесуточно, за период с 07.07.2021 по 18.09.2021, путем привязки их от 10 – 12 исходных пунктов IGS в системе INRF-2014;
- обработку и уравнивание GNSS сети для исследования трендовых движений путем сопоставления пространственных координат пунктов, полученных в различные серии мониторинговых измерений.

Программа эксперимента позволяет определить численные значения:

- суточных амплитуд изменений координат по трем осям координат – амплитудная и трендовая составляющие до землетрясения, между сериями землетрясений и после землетрясений;

– распределения горизонтальных сдвижений и деформаций массива горных пород путем сопоставления цикловых координат, полученных в результате уравнивания геодезической сети.

Результаты исследований

На первом этапе, с использованием сервиса AUSPOS построены посуточные временные ряды, период с 07.07.2021 по 18.09.2021 (за период до и после техногенного землетрясения в н.п. Кыргыз). Исходя из того, что землетрясение было мелкофокусное, для построения временных рядов сдвижений были выбраны наблюдательные пункты, соответствующие условию – близлежащие и функционирующие в данный период (рис. 4).

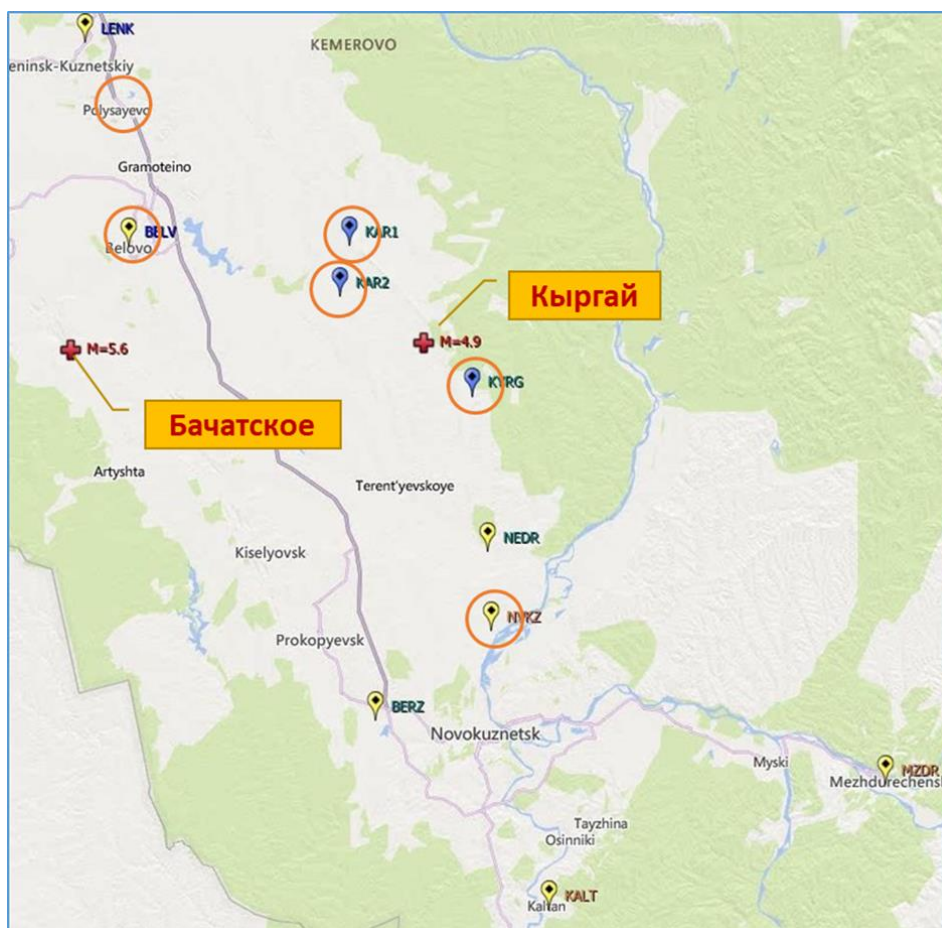


Рис. 4. Схема расположения наблюдательных пунктов для построения временных рядов сдвижений

Точность определения цикловых координат в горизонтальной плоскости (по широте и долготе), согласно отчетам автоматической камеральной обработки результатов измерений, составляет 2 – 3 мм, что подтверждается и другими исследователями [25 – 27].

При анализе полученных временных рядов (рис. 5) сделаны следующие выводы:

- не обнаружено свидетельств подготовки сейсмического события, левые части графиков (до сейсмического события) не проявляют аномального характера распределения сдвижений по широте и долготе;
- зафиксировано «растягивание» массива в меридиональном направлении после техногенного землетрясения. Пункты «разбегаются» по широте, скорее всего, это связано с преобладающим субмеридиональным простиранием основных тектонических нарушений (см. рис. 3);

– по долготе большинство наблюдательных пунктов выдерживают трендовую составляющую (для Кузбасса она составляет примерно 26.5 мм/год), один из пунктов (Каракан-2) – нет.

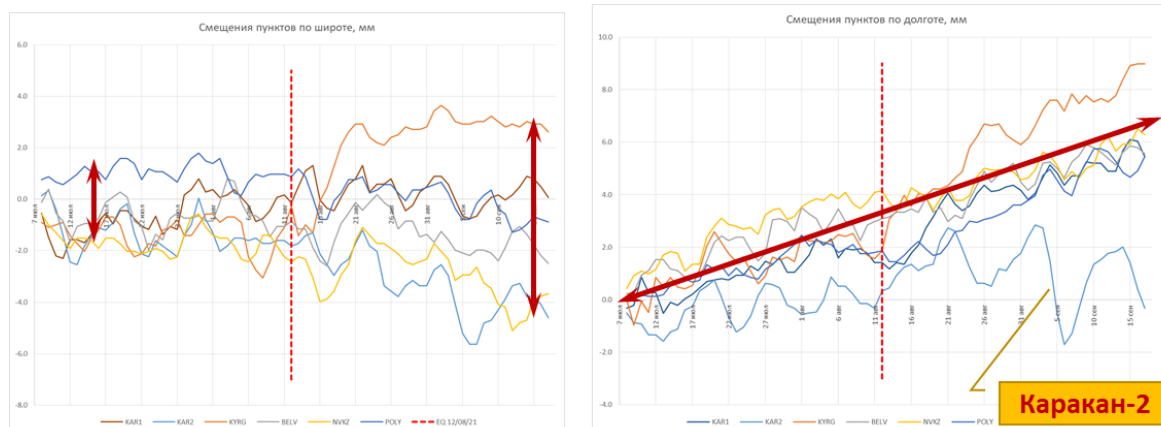


Рис. 5. Временные ряды сдвижений по широте (слева) и долготе (справа)

На втором этапе, для уточнения картины распределения горизонтальных сдвижений и деформаций массива горных пород, по результатам обработки и уравнивания геодезической GNSS сети получены цикловые пространственные координаты наблюдательных пунктов.

Для корректного сопоставления цикловых координат при обработке геодезической сети необходимо формирование «равновесной системы». Это связано с тем, что не всегда имеется возможность выбора «условно-неподвижного» пункта [28 – 29], фиксированные значения пространственных координат которого используются для центрирования геодезической сети. Кроме этого, для условий Кузбасса экспериментально установлено, что современные геодинамические движения в широтном направлении имеют значительную изменчивость, возможно связанную с сезонной составляющей либо с наличием на исследуемой территории большого количества активных тектонических разломов субмеридионального направления, по которым происходят криповые подвижки.

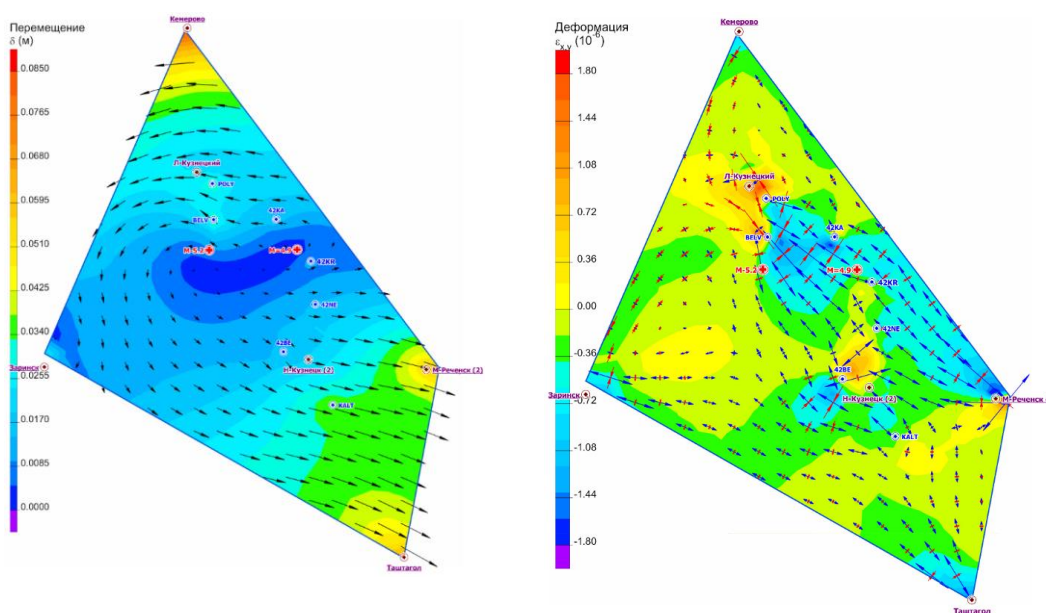


Рис. 6. Векторы горизонтальных сдвижений (слева) и тензоры горизонтальных (сдвиговых) деформаций (справа) в районе Бачатского и Кыргайского техногенных землетрясений за период 2021 – 2022 гг.

По результатам обработки геодезической GNSS сети, охватывающей район Бачатского (18.06.2013) и Кыргайского (12.08.2021) техногенных землетрясений (до и через год после сейсмического события), построены векторное поле сдвижений и тензорное поле деформаций (рис. 6).

В районе Кыргайского сейсмического события зафиксированы «растягивающие» деформации в субмеридиональном направлении, что свидетельствует о преимущественной реализации подвижек по активным тектоническим нарушениям субмеридионального направления.

Представленные выше данные о распределении величин и направления векторов горизонтальных сдвижений и тензоров горизонтальных (сдвиговых) деформаций в районе Бачатского и Кыргайского техногенных землетрясений носят предварительный характер и подлежат дальнейшему уточнению.

Для оценки уровня современных геодинамических движений и деформаций на горнопромышленной территории Кузнецкого угольного бассейна, который характеризуется беспрецедентными объемами извлекаемых из недр полезных ископаемых, сформирована база данных «Современные геодинамические движения территории Кузбасса и Алтая» [30]. В течение 2023 г. база данных была пополнена цикловыми наблюдениями (весна, лето и осень 2023 г.), включает в себя 113 пунктов GNSS международных, федеральных, ведомственных и корпоративных сетей, геодезические наблюдения на которых проводились в течение 2-х и более лет. По результатам возможно построение векторного поля сдвижений, полей деформаций, дивергенции и ротора поля.

Заключение

По результатам исследования природной и техногенной сейсмичности, а также пополнения базы данных современных геодинамических движений горнопромышленных территорий Кузбасса и Алтая построены посуточные временные ряды смещений в период до и после мелкофокусного техногенного землетрясения в н.п. Кыргай (12.08.2021, $M = 4.9$). Зафиксирован рост величин растягивающих смещений и деформаций массива в широтном направлении, по преобладающим субмеридиональным тектоническим нарушениям района, при этом не было обнаружено деформационных свидетельств подготовки сейсмического события. Построены векторное поле сдвижений и тензорное поле деформаций, по характеру распределения которых в районе Кыргайского сейсмического события зафиксированы «растягивающие» деформации в субмеридиональном направлении, что свидетельствует о преимущественной реализации подвижек по активным тектоническим нарушениям субмеридионального направления.

Дальнейшие исследования природной и техногенной сейсмичности Кузнецкого угольного бассейна предполагается провести в районе угольного разреза «Колыванский», на котором 27.11.2023 был произведен промышленный взрыв, а через две секунды после взрыва в этом же районе произошло крупное сейсмическое событие с магнитудой $M = 4.7$. Протекание сейсмического процесса в предыдущие годы и расположение этого и других землетрясений в данном районе, а также близость событий к поверхности указывают на техногенный характер всей активизации и этого землетрясения, в частности. При этом техногенное землетрясение 27.11.2023 является наибольшим по энергии во всем ряде событий, которые наблюдались в районе Горловского угольного прогиба.

Список литературы

1. *Кузнецкий угольный бассейн* – Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кузнецкий_угольный_бассейн (дата обращения: 01.02.2024).
2. *Министерство угольной промышленности Кузбасса*. URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli/> (дата обращения: 01.02.2024).

3. Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., 2003. Результаты исследования техногенной сейсмичности Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 1, С. 151 – 153.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. и др., 2010. Наведенная сейсмичность в районе г. Полысаево (Кузбасс). *Землетрясения России в 2008 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 101 – 106.
5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. и др., 2009. Техногенная сейсмичность в Кузбассе. *Землетрясения России в 2007 году: Сборник научных трудов*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 86 – 93.
6. Фатеев А.В., Еманов А.Ф., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В. 2012. Эксперименты по обнаружению наведенной сейсмичности на севере Кузбасса. *Землетрясения России в 2010 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 87 – 89.
7. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. и др., 2010. Наведенная сейсмичность в районе г. Полысаево (Кузбасс). *Землетрясения России в 2008 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 101 – 106.
8. Фатеев А.В., Еманов А.Ф., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., 2012. Эксперименты по обнаружению наведенной сейсмичности на севере Кузбасса. *Землетрясения России в 2010 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 87 – 89.
9. Яковлев Д.В., Лазаревич Т.И., Цирель С.В., 2013. Природно-техногенная сейсмоактивность Кузбасса. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 6, С. 20 – 34.
10. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др., 2015. Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса. *Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания*, Москва, 16 – 19 июня 2015 года. Москва: Издательство ГЕОС, С. 190 – 199.
11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. и др., 2015. Основы системы сейсмологического мониторинга Кузбасса. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, Т. 2, № 2, С. 68 – 72.
12. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., 2018. Изучение наведенной сейсмичности на юге Кузбасса в районе открытых и подземных горных работ. *Землетрясения России в 2016 году*. Обнинск: Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук", С. 117 – 122.
13. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В., 2017. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведенная сейсмичность. *Вопросы инженерной сейсмологии*, Т. 44, № 4, С. 51 – 62. DOI 10.21455/VIS2017.4-3.
14. Соловицкий А.Н., 2016. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса: точность регистрации и определения координат. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, № 4 (36), С. 16 – 25.
15. Соловицкий А.Н., 2017. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса: геодезические построения. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, Т. 22, № 1, С. 81 – 89.
16. Каленицкий А.И., Соловицкий А.Н., 2019. О методологическом аспекте геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении недр Кузбасса. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университе-*

та геосистем и технологий), Т. 24, № 4, С. 20 – 33. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-20-33.

17. Каленицкий А.И., Соловицкий А.Н., 2019. О развитии многоуровневых построений на геодинамическом полигоне при освоении недр Кузбасса. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, Т. 24, № 2, С. 45 – 55. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-2-45-55.

18. Соловицкий А.Н., 2020. О решении задач геодинамики угольных месторождений Кузбасса геодезическим методом. *Международный научно-исследовательский журнал*, № 11-2(101), С. 76 – 80. DOI 10.23670/IRJ.2020.101.11.045.

19. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В. и др., 2021. Некоторые особенности современных техногенных движений земной коры. *Геодинамика и тектонофизика*, Т. 12, № S3, С. 776 – 791. DOI 10.5800/GT-2021-12-3s-0554.

20. *Эксперт: землетрясение в Кузбассе могло иметь техногенный характер*. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/12119971> (дата обращения: 01.02.2024).

21. *Мощное природное землетрясение в Кузбассе оказалось спровоцировано угольщиками*. URL: <https://ria.ru/20210813/zemletryasenie-1745584304.html> (дата обращения: 01.02.2024).

22. *Умеренное землетрясение маг. 4.8 - Southwestern Siberia, Russia, Пятница, 13 авг. 2021 03:41 (GMT +7)*. URL: <https://www.volcanodiscovery.com/ru/zemletryaseniya/quake-info/6363852/quake-felt-Aug-12-2021-Near-.html> (дата обращения: 01.02.2024).

23. Панжин А.А., 2019. Предварительные результаты диагностики изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск в сентябре 2018 г. *Проблемы недропользования*, № 4(23), С. 33 – 37. DOI 10.25635/2313-1586.2019.04.033.

24. Панжин А.А., 2020. Диагностика изменения напряженно-деформированного состояния массива при землетрясении в районе г. Катав-Ивановск. *Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды VIII Международной конференции, Екатеринбург, 07 апреля 2020 года*. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, С. 198 – 204.

25. Богданец Е.С., Зырянов А.Р., 2017. Анализ точности онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных при различных интервалах наблюдений. *Master's Journal*, № 2, С. 37 – 43.

26. Давыдов А.В., Гиенко Е.Г., 2019. Опыт использования результатов ГНСС-измерений на пунктах IGS для мониторинга морских нефтяных платформ на шельфе о. Сахалин. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, Т. 1, № 1, С. 62 – 70. DOI 10.33764/2618-981X-2019-1-1-71-76.

27. Кафтан В.И., Татаринцов В.Н., Побединский М.Г. и др., 2023. ГНСС-наблюдения на комплексной геомагнитной обсерватории «Климовская». *Геофизические процессы и биосфера*, Т. 22, № 2, С. 143 – 154. DOI 10.21455/GPB2023.2-7.

28. Сашурин А.Д., Панжин А.А., 2020. Современные проблемы и задачи геомеханики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 – 1, С. 188 – 198. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-188-198.

29. Панжин А.А., Панжина Н.А., 2019. Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 31-40. DOI 10.21440/0536-1028-2019-6-31-40.

30. *Современные геодинамические движения территории Кузбасса и Алтая: база данных: свидетельство о государственной регистрации № 2023623903: дата рег. 13.11.2023: опублик. 13.11.2023 Бюл. № 11: гос. рег. в Реестре баз данных 13.11.2023.* / Панжин А.А., Панжина Н.А.; правообладатель ИГД УрО РАН. URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=DB&DocNumber=2023623903&TypeFile=html (дата обращения: 01.02.2024).

References

1. Kuznetskii ugol'nyi bassein – Vikipediya [Kuznetsk coal basin – Wikipedia]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Kuznetskii_ugol'nyi_bassein (data obrashcheniya: 01.02.2024).
2. Ministerstvo ugol'noi promyshlennosti Kuzbassa [Ministry of Coal Industry of Kuzbass]. URL: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli/> (data obrashcheniya: 01.02.2024).
3. Lazarevich T.I., Polyakov A.N., 2003. Rezul'taty issledovaniya tekhnogennoi seismichnosti Kuzbassa . [The results of the study of the technogenic seismicity of Kuzbass]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 1, P. 151 – 153.
4. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V. i dr., 2010. Navedennaya seismichnost' v raione g. Polysaevo (Kuzbass) [Induced seismicity in the area of Polysaevo (Kuzbass)]. Zemletryaseniya Rossii v 2008 godu. Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiiskoi akademii nauk", P. 101 – 106.
5. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V. i dr., 2009. Tekhnogennaya seismichnost' v Kuzbasse . [Technogenic seismicity in Kuzbass]. Zemletryaseniya Rossii v 2007 godu: Sbornik nauchnykh trudov. Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossii-skoi akademii nauk", P. 86 – 93.
6. Fateev A.V., Emanov A.F., Podkorytova V.G., Leskova E.V. 2012. Eksperimenty po obnaruzheniyu navedennoi seismichnosti na severe Kuzbassa [Experiments to detect induced seismicity in the north of Kuzbass]. Zemletryaseniya Rossii v 2010 godu. Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiiskoi akademii nauk", P. 87 – 89.
7. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V. i dr., 2010. Navedennaya seismichnost' v raione g. Polysaevo (Kuzbass) [Induced seismicity in the area of Polysaevo (Kuzbass)]. Zemletryaseniya Rossii v 2008 godu. Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiiskoi akademii nauk", P. 101 – 106.
8. Fateev A.V., Emanov A.F., Podkorytova V.G., Leskova E.V., 2012. Eksperimenty po obnaruzheniyu navedennoi seismichnosti na severe Kuzbassa [Experiments to detect induced seismicity in the north of Kuzbass]. Zemletryaseniya Rossii v 2010 godu. Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiiskoi akademii nauk", P. 87 – 89.
9. Yakovlev D.V., Lazarevich T.I., Tsirel' S.V., 2013. Prirodno-tekhnogennaya seismoaktivnost' Kuzbassa [Natural and manmade seismic activity of Kuzbass]. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh, № 6, P. 20 – 34.
10. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V. i dr., 2015. Sistema monitoringa navedennoi seismichnosti Kuzbassa i triggernye efekty v razvitii seismicheskogo protsessa [Kuzbass induced seismicity monitoring system and trigger effects in the development of the seismic process]. Triggernye efekty v geosistemakh: Materialy tret'ego Vserossiiskogo seminar-soveshchaniya, Moscow, 16 – 19 iyunya 2015 goda. Moscow: Izdatel'stvo GEOS, P. 190 – 199.
11. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V. i dr., 2015. Osnovy sistemy seismologicheskogo monitoringa Kuzbassa [Fundamentals of the seismic monitoring system in Kuzbass]. Interekspo Geo-Sibir', Vol. 2, № 2, P. 68 – 72.
12. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Shevkunova E.V., 2018. Izuchenie navedennoi seismichnosti na yuge Kuzbassa v raione otkrytykh i podzemnykh gornykh rabot [Study of induced seismicity in the south of Kuzbass in the area of open and underground mining]. Zemletryaseniya Rossii v 2016 godu . Obninsk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr "Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiiskoi akademii nauk", P. 117 – 122.
13. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V., 2017. Odnovremennoe vozdeistvie otkrytykh i podzemnykh gornykh rabot na nedra i navedennaya seismichnost' [Simultaneous impact of open and underground mining operations on the subsurface and induced seismicity]. Voprosy inzhenernoi seismologii, Vol. 44, № 4, P. 51 – 62. DOI 10.21455/VIS2017.4-3.

14. Solovitskii A.N., 2016. Geodezicheskiy monitoring napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zemnoi kory v raionakh osvoeniya ugol'nykh mestorozhdenii Kuzbassa: tochnost' registratsii i opredeleniya koordinat [Geodetic monitoring of the stress-strain state of the Earth's crust in the areas of development of Kuzbass coal deposits: accuracy of registration and determination of coordinates]. Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii), № 4 (36), P. 16 – 25.
15. Solovitskii A.N., 2017. Geodezicheskiy monitoring napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zemnoi kory v raionakh osvoeniya ugol'nykh mestorozhdenii Kuzbassa: geodezicheskie postroeniya [Geodetic monitoring of the stress-strain state of the Earth's crust in the areas of development of Kuzbass coal deposits: geodetic constructions]. Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii), Vol. 22, № 1, P. 81 – 89.
16. Kalenitskii A.I., Solovitskii A.N., 2019. O metodologicheskom aspekte geodezicheskogo monitoringa napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zemnoi kory pri osvoenii neдр Kuzbassa [On the methodological aspect of geodesic monitoring of the stress-strain state of the Earth's crust during the development of the Kuzbass subsoil]. Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii), Vol. 24, № 4, P. 20 – 33. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-20-33.
17. Kalenitskii A.I., Solovitskii A.N., 2019. O razvitii mnogourovnevnykh po-stroenii na geodinamicheskom poligone pri osvoenii neдр Kuzbassa [On the development of multi-level structures at the geodynamic landfill during the development of the Kuzbass subsoil]. Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii), Vol. 24, № 2, P. 45 – 55. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-2-45-55.
18. Solovitskii A.N., 2020. O reshenii zadach geodinamiki ugol'nykh mestorozhdenii Kuzbassa geodezicheskim metodom [On solving the problems of geodynamics of coal deposits in Kuzbass by the geodetic method]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal, № 11-2(101), P. 76 – 80. DOI 10.23670/IRJ.2020.101.11.045.
19. Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G., Timofeev A.V. i dr., 2021. Nekotorye osobennosti sovremennykh tekhnogennykh dvizhenii zemnoi kory [Some peculiarities of current technogenic movements of the Earth's crust]. Geodinamika i tektonofizika, Vol. 12, № S3, P. 776 – 791. DOI 10.5800/GT-2021-12-3s-0554.
20. Ekspert: zemletryasenie v Kuzbasse moglo imet' tekhnogennyi kharakter [Expert: the earthquake in Kuzbass could have been manmade cause]. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/12119971> (data obrashcheniya: 01.02.2024).
21. Moshchnoe prirodnoe zemletryasenie v Kuzbasse okazalos' sprovotsirovano ugol'shchikami [A powerful natural earthquake in Kuzbass was provoked by coal miners]. URL: <https://ria.ru/20210813/zemletryasenie-1745584304.html> (data obrashcheniya: 01.02.2024).
22. Umerennoe zemletryasenie mag. 4.8 - Southwestern Siberia, Russia, Pyatnitsa, 13 avg. 2021 03:41 (GMT +7) [Moderate earthquake mag. 4.8 - Southwestern Siberia, Russia, Friday, Aug. 13, 2021 03:41 (GMT +7)]. URL: <https://www.volcanodiscovery.com/ru/zemletryaseniya/quake-info/6363852/quake-felt-Aug-12-2021-Near-.html> (data obrashcheniya: 01.02.2024).
23. Panzhin A.A., 2019. Predvaritel'nye rezul'taty diagnostiki izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva pri zemletryasении v raione g. Katav-Ivanovsk v sentyabre 2018 g. [Preliminary results of diagnostics of changes in the stress-strain state of the massif during an earthquake in the area of Katav-Ivanovsk in September 2018]. Problemy nedropol'zovaniya, № 4(23), P. 33 – 37. DOI 10.25635/2313-1586.2019.04.033.
24. Panzhin A.A., 2020. Diagnostika izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva pri zemletryasении v raione g. Katav-Ivanovsk [Diagnostics of changes in the stress-strain state of the massif during an earthquake in the area of Katav-Ivanovsk].

Ekologicheskaya i tekhnosfernaya bezopasnost' gornopromyshlennykh regionov: trudy VIII Mezhdunarodnoi konferentsii, Ekaterinburg, 07 aprelya 2020 goda. Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet, P. 198 – 204.

25. Bogdanets E.S., Zyryanov A.R., 2017. Analiz tochnosti onlain-servisov postobrabotki GNSS-dannykh pri razlichnykh intervalakh nablyudeniia [Analysis of the accuracy of online GNSS data processing services at different observation intervals]. Master's Journal, № 2, P. 37 – 43.

26. Davydov A.V., Gienko E.G., 2019. Opyt ispol'zovaniya rezul'tatov GNSS-izmerenii na punktakh IGS dlya monitoringa morskikh neftyanykh platform na shel'fe o. Sakhalin [Experience in using the results of GNSS measurements at IGS sites for monitoring offshore oil platforms on the Sakhalin Island]. Interekspo Geo-Sibir', Vol. 1, № 1, P. 62 – 70. DOI 10.33764/2618-981X-2019-1-1-71-76.

27. Kaftan V.I., Tatarinov V.N., Pobedinskii M.G. i dr., 2023. GNSS-nablyudeniya na kompleksnoi geomagnitnoi observatorii "Klimovskaya" [GNSS observations at the integrated geomagnetic observatory "Klimovskaya"]. Geofizicheskie protsessy i biosfera, Vol. 22, № 2, P. 143 – 154. DOI 10.21455/GPB2023.2-7.

28. Sashurin A.D., Panzhin A.A., 2020. Sovremennye problemy i zadachi geomekhaniki [Modern problems and tasks of geomechanics]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3 – 1, P. 188 – 198. DOI 10.25018/0236-1493-2020-31-0-188-198.

29. Panzhin A.A., Panzhina N.A., 2019. Otsenka stabil'nosti opornykh punktov kak osnovy dlya geodinamicheskogo monitoringa [Assessment of the stability of strongholds as a basis for geodynamic monitoring]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 6, P. 31-40. DOI 10.21440/0536-1028-2019-6-31-40.

30. Sovremennye geodinamicheskie dvizheniya territorii Kuzbassa i Altaya [Modern geodynamic movements of the territory of Kuzbass and Altai]: baza dannykh: svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii № 2023623903: data reg. 13.11.2023: opubl. 13.11.2023 Byul. № 11: gos. reg. v Reestre baz dannykh 13.11.2023. / Panzhin A.A., Panzhina N.A.; pravoobladatel' IGD UrO RAN. URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=DB&DocNumber=2023623903&TypeFile=html ((data obrashcheniya: 01.02.2024).