ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5—2):135—145
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.83:[528.2:629.78] DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_135

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОЛИМПИАДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. А. Панжин

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Приводятся методика и результаты исследования современной геодинамической активности и напряженно-деформированного состояния породного массива Олимпиадинского месторождения. В качестве исходных использованы архивные данные выполненных спутниковых геодезических измерений по переопределению пространственных координат реперов Государственной геодезической, опорной маркшейдерской сетей месторождения, а также реперов наблюдательной станции, заложенной в прибортовом массиве карьера «Восточный». Выполнена оценка устойчивости реперных пунктов, на основании чего сделан вывод о стабильности долговременного неизменного положения базового геодезического пункта предприятия в глобальной системе координат ITRF2014, что позволяет считать его устойчивым для последующих геодезических построений. Переопределены современные координаты геодезических пунктов района месторождения, что позволило установить величины и направления векторов горизонтальных сдвижений, амплитуды деформаций и характер их действия, определить сдвижения и деформации в вертикальной плоскости и интегральные. По полученным данным о процессе сдвижения были определены тензоры деформаций и изменения тектонических напряжений, вызвавших данные деформации. Выполненный комплекс исследований обеспечил получение исходных данных об условиях разработки месторождения и закономерностях развития деформационных процессов, необходимых для проектирования подземной разработки месторождения, а именно: параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе разработки месторождения и параметров трендовых современных геодинамических движений массива.

Ключевые слова: современная геодинамическая активность, сдвижения, деформации, массив горных пород, тектонические нарушения, геодинамический мониторинг, спутниковая геодезия, прибортовой массив.

Благодарность: Статья подготовлена в рамках государственного задания № 075-00581-19-00 по теме № 0405-2019-0007.

Для цитирования: *Панжин А. А.* Определение параметров напряженно-деформированного состояния Олимпиадинского месторождения по результатам геодезических измерений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—2. — С. 135—145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_135.

© А. А. Панжин. 2021

Stress–strain behavior of Olimpiada deposit rock mass by geodetic measurements

A. A. Panzhin

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The article describes the research procedure and results on the modern geodynamics and stress state of enclosing rock mass of Olimpiada deposit. The source information is the archival data of satellite surveying aimed at updating of spatial coordinates of control survey points within the National Geodetic Survey Network and within the observation station arranged in adjacent rock mass of Vostochny open pit mine. The steadiness of the survey points is estimated. The resultant conclusion states the stability of the long-term unaltered position of the main survey station of the mine within the global coordinate system ITRF2014, which allows assuming this station suitable for the further surveying. The current coordinates of the control survey points are updated in the region of the deposit, which allows determining values and directions of vectors of horizontal movements, amplitudes and behavior of strains, as well as vertical and integral displacements and strains. From the found data on movements in rock mass, the tensors of strains and the changes in tectonic stresses which induced the strains are determined. The accomplished research provided the source data on mining conditions and strain evolution patterns required for underground mine planning and design, namely, the stress–strain behavior parameters in the test mining region and the trends of modern geodynamics of rock mass.

Key words: modern geodynamic, movements, strains, rock mass, faults, geodynamic monitoring, satellite geodesy, pit wall rock mass.

Acknowledgements: The study was carried out under State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0007.

For citation: Panzhin A. A. Stress–strain behavior of Olimpiada deposit rock mass by geodetic measurements. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):135–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_135.

Введение.

Необходимость определения параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) Олимпиадинского месторождения обусловлена противоречивостью результатов предшествующих исследований напряженного состояния породного массива. При переходе к подземной добыче необходимо выявление критериев и параметров, оказывающих значимое влияние на НДС горного массива и выполнение расчетов НДС массива на участках подземной добычи с учетом технических решений по вскрытию и отработке запасов подземным способом и предполагаемого развития фронта горных работ для обеспечения устойчивости конструктивных элементов в процессе строительства и эксплуатации.

Основу современных деформационных методов оценки НДС горного массива составляет решение обратной геомеханической задачи по замеренным деформациям, вызванным воздействием тех или иных возмущений первоначального поля напряжений [1]. Вследствие иерархически-блочного структурного строения массивов скальных горных пород, характерного для подавляющего большинства рудных месторождений, выявление параметров

НДС на больших базах путем обобщения результатов замеров на базах меньших, в том числе выполненных методами полной, частичной или щелевой разгрузки в скважинах и на контуре подземных выработок, сопряжено со значительными трудностями. Опыт многочисленных натурных исследований в России и за рубежом свидетельствует, что в геодинамически активном породном массиве при существенной подвижности его разномасштабных структурных блоков задача становится практически невыполнимой даже для сравнительно небольших объемов массива, не говоря уже о масштабах месторождений и шахтных полей [2].

Трудоемкие измерения полных векторов горизонтальных смещений точек земной поверхности на больших площадях, еще сравнительно недавно представлявшие существенную проблему, в настоящее время с достаточной точностью и оперативностью выполняются технологиями спутниковой геодезии ГНСС. Однако и тут иерархическая блочность и подвижность разномасштабных породных структур вызывают сложности, которые связаны отнюдь не с обеспечением точности замеров. Для большинства геомеханических задач 2—4-миллиметровой точности спутниковой геодезии более чем достаточно. Главная проблема заключается в выделении искомой трендовой составляющей из всего хаоса случайных разнонаправленных фоновых (т. е. происходящих естественным образом, а не под действием горных работ) подвижек, которые постоянно претерпевает тот конкретный структурный породный блок, на поверхности которого находится рассматриваемый реперный пункт, спутниковый приемник, лазерный дальномер, тахеометр и пр.

Для масштабов Олимпиадинского месторождения, т. е. в целях определения параметров напряженного состояния породного массива на базах в сотни метров — первые километры, надлежит определить смещения соответствующих точек на местности, замеренных за этот период в процессе регулярных мониторинговых GPS–наблюдений за устойчивостью бортов карьера. Анализируются горизонтальные и вертикальные смещениях лишь тех реперных пунктов, которые адекватно отражают упругое деформирование горного массива, обусловленное выемкой карьера. На смещения таких пунктов ни в коем случае не должны сказываться локальные деформационные проявления, вызванные посторонними факторами: оседаниями бортов карьера, уступов и отдельных породных блоков под собственным весом, процессами промерзания и оттаивания, заболачиваемости и дренажа слоя рыхлых наносов и пр.

Методология исследований

Реальному массиву горных пород присуща постоянная подвижность, которая проявляется на различных иерархически-блочных уровнях. В связи с этим при исследованиях процесса сдвижения массива горных пород необходимо проводить оценку устойчивости исходных «условно-неподвижных» пунктов, относительно которых определяются пространственные координаты реперов наблюдательной станции. Изменения координат исходного репера во времени, с одной стороны, могут отражать общее смещение геологических структур района, совпадая по величине и направлению с модельными движениями тектонических блоков. С другой стороны, при расположении исходных «условно-неподвижных» пунктов на активных тектонических структурах, на геологических блоках, имеющих собственные, зачастую значительные сдвижения относительно

соседних, возникает проблема выделения из величин общих пространственных сдвижений реперов наблюдательной станции величины сдвижений исходных «условно-неподвижных» пунктов.

Оценка устойчивости реперных пунктов опорной маркшейдерской сети (ОМС) и пунктов Государственной геодезической сети (ГГС) в окрестностях Олимпиадинского месторождения и карьера «Восточный» проводилась с использованием архивных данных спутниковых геодезических наблюдений, выполненных в 2010, 2015 и 2017 гг.

На первом этапе была выполнена геодезическая привязка базовой точки Олимпиадинского ГОКа к пунктам Международной геодезической сети IGS и пунктам ФАГС в глобальной системе координат ITRF2014, результаты которой подробно рассмотрены в работе [3]. Данный анализ выполнялся с целью определения устойчивости и исключения в дальнейших расчетах и построениях влияния собственных движений опорного геодезического пункта предприятия, поскольку, как отмечается в ряде исследований, даже в асейсмичных областях выделяются зоны «суперинтенсивных деформаций», в которых пространственные координаты реперов могут изменяться в широких пределах [4, 5].

В результате было установлено, что модельные скорости сдвижения пунктов в районе карьера «Восточный» составляют 26,3 мм/год, азимут вектора сдвижений ¾ 91°, что достаточно хорошо коррелирует с фактическими данными: скорость сдвижений 26,3 мм/год, азимут вектора сдвижений ¾ 100,5°. Небольшие расхождения модельных и фактических данных обусловлены, скорее всего, низкой плотностью на территории Сибири сети пунктов Международной геодезической сети IGS, данные которой используются UNAVCO для построения глобальной геодинамической модели движений верхней части земной коры. Таким образом, сделан вывод о стабильности долговременного неизменного положения базового геодезического пункта предприятия в глобальной системе координат ITRF2014, и его можно считать устойчивым для последующих геодезических построений [6—8].

На втором этапе выполнялась камеральная обработка и совместное уравнивание пунктов ГГС, ОМС и базового геодезического пункта предприятия. Камеральная обработка «сырых» данных спутниковых геодезических измерений производилась в программном пакете GrafNET, который используется мировым научным сообществом для систем геодинамического мониторинга, в том числе для переопределений Международной геодезической сети IGS как контрольный к GAMIT математический пакет [9, 10].

Результаты исследований

В результате работ были переопределены современные координаты пунктов ОМС и ГГС района месторождения, что позволило установить величины и направления векторов горизонтальных сдвижений (рис. 1), амплитуды деформаций и характер их действия, определить сдвижения и деформации в вертикальной плоскости и интегральные (3D). Также по полученным данным о процессе сдвижения были определены тензоры деформаций и изменения тектонических напряжений, вызвавших данные деформации.

При рассмотрении векторов сдвижений пунктов ГГС и ОМС на участке породного массива, непосредственно примыкающем к карьеру «Восточный», две системы деформирования (субши-

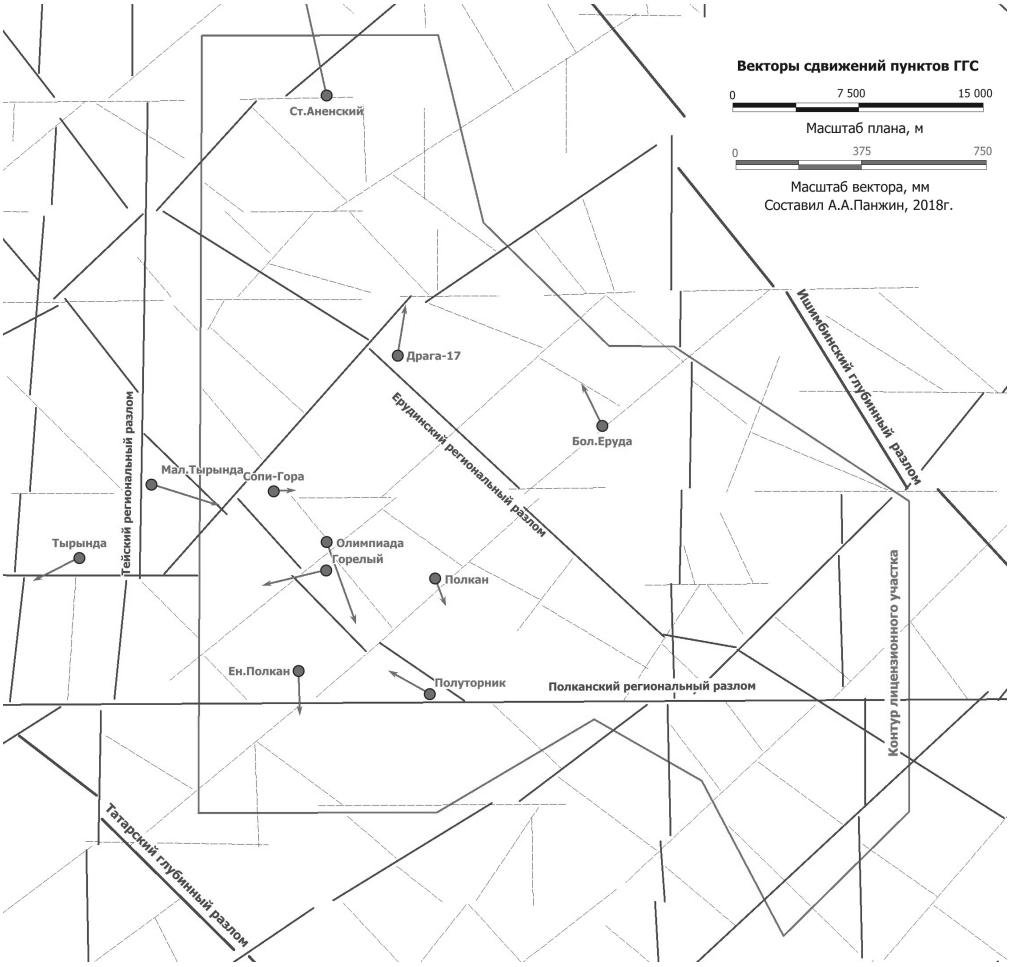

Рис. 1. Векторы сдвижений пунктов ГГС района месторождения
Fig. 1. Vectors of displacement of control survey points in the area of deposit

ротная и вихревая) выделяются более четко (рис. 2). При этом основная траектория вихревых движений сконцентрирована в прибортовом массиве, причем в его северо-западной части происходит максимальное закручивание, что может служить индикатором наличия в этом участке массива активной геодинамической структуры, которая может явиться источником региональных или локальных геодинамических процессов [11, 12].

Тензоры деформаций (рис. 3), построенные в результате моделирования методом конечных элементов (МКЭ), формируют мозаичное по величине и направлениям действия поле [13, 14]. В районе карьерного пространства отмечаются как деформации сжатия, так и растяжения (депрессии), что может негативно сказаться на устойчивости бортов карьера и активизации процесса трещинообразования.

Наибольший риск представляют зоны концентраций, в которых сочетаются депрессия по одному из главных направлений с повышенными сжимаю-

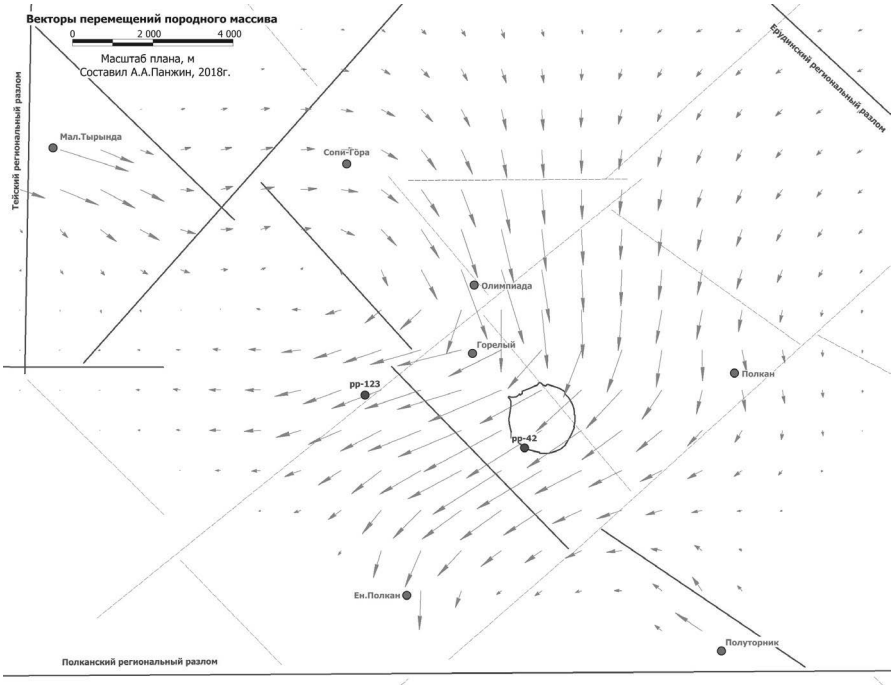

Рис. 2. Векторы перемещений породного массива Олимпиадинского месторождения
Fig. 2. Vectors of displacements in enclosing rocks of Olimpiada deposit

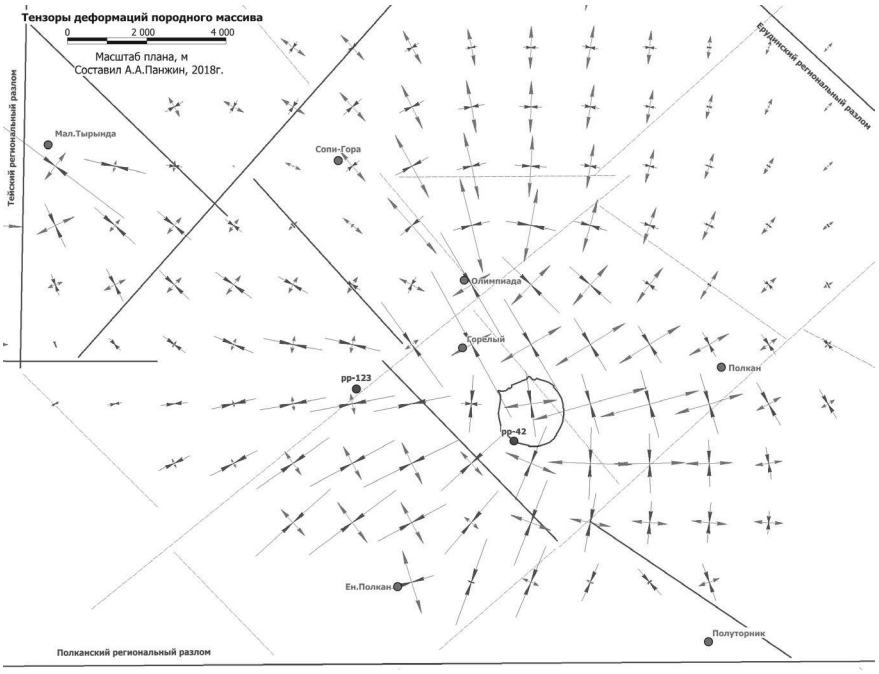

Рис. 3. Тензоры деформаций породного массива Олимпиадинского месторождения
Fig. 3. Tensors of strains in enclosing rocks of Olimpiada deposit

щими деформациями и напряжениями по второму главному направлению. На этих участках за счет депрессии образуются разуплотненные массы горных пород, раскрываются трещины, что в сочетании с повышенными сжимающими силами по второму направлению приводит к образованию сдвиговых деформаций и формированию обрушений [15, 16].

Таблица 1

Изменчивость параметров напряженно-деформированного состояния породного массива Олимпиадинского месторождения

Change in the stress–strain behavior of enclosing rock mass of Olimpiada deposit

Параметр	Амплитуда параметра	
	Max	Min
ε_{xx}	$7{,}2\cdot10^{-5}$	$-4{,}5\cdot10^{-5}$
ε_{yy}	$6{,}6\cdot10^{-5}$	$-4{,}3\cdot10^{-5}$
γ_{xy}	$8{,}7\cdot10^{-5}$	$-6{,}1\cdot10^{-5}$
ε_1	$9{,}8\cdot10^{-5}$	$-0{,}1\cdot10^{-5}$
ε_2	$0{,}1\cdot10^{-5}$	$-12{,}1\cdot10^{-5}$
$\sigma_{1,\ МПа}$	0,53	–0,13
$\sigma_{2,\ МПа}$	0,22	–0,49

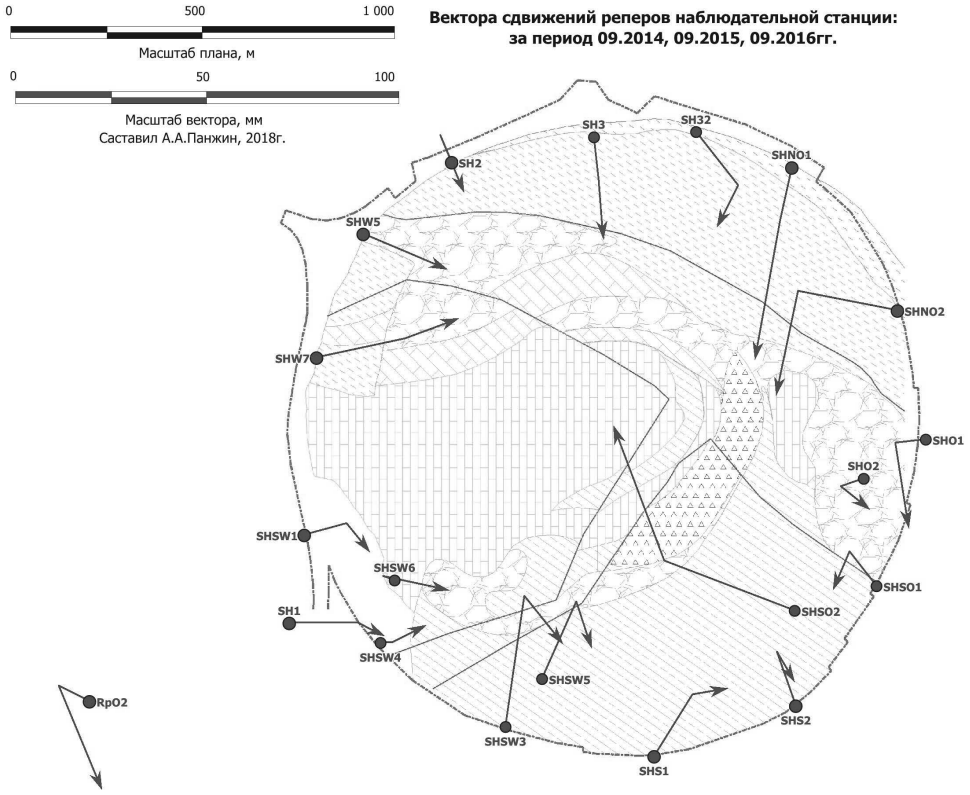

Рис. 4. Векторы сдвижений прибортового массива
Fig. 4. Displacement vectors in pit wall rock mass

Таким образом, выполненная оценка устойчивости реперных пунктов в окрестностях Олимпиадинского месторождения и карьера «Восточный» относительно глобальной системы координат позволяет сделать вывод о том, что сдвижения реперов наблюдательной станции карьера «Восточный» в полной мере отражают реальные деформационные процессы, происходящие в прибортовом массиве, при этом векторы их пространственных сдвижений свободны от влияния собственных сдвижений исходных «условно-неподвижных» пунктов.

По результатам обработки данных МКЭ были определены основные параметры полей деформаций и тектонических напряжений, их вызывающих (табл. 1). Исследуемый массив при этом был представлен упругой однородной средой, физические параметры которой были приняты следующими: модуль упругости массива E = 5000 МПа, для случая больших измерительных баз обоснован в работе [17], коэффициент Пуассона μ = 0,3.

Для исследования пространственной изменчивости положения реперных пунктов в прибортовом массиве карьера «Восточный» были использованы данные инструментальных наблюдений по наблюдательной станции. Для исключения сезонного фактора в расчетах участвовали только три серии наблюдений, все они выполнены в сентябре месяце 2014, 2015 и 2016 гг., после полной оттайки массива.

Векторы сдвижений реперов наблюдательной станции, заложенных в прибортовом массиве карьера «Восточный», приведены на рис. 4, на котором видно, что преобладают сдвижения в сторону выработанного пространства. Для определения основных направлений действия деформаций были определены амплитуды горизонтальных и вертикальных сдвижений между всеми парами реперов наблюдательной станции.

Установлено, что максимальные сдвижения и деформации приурочены к определенным азимутам:

– для компоненты «Север-Юг» азимут максимальных сдвижений +30° (+210°);

– для компоненты «Запад-Восток» азимут максимальных сдвижений +65° (+245°).

Вторые по максимальным сдвижениям и деформациям направления для компонент «Север-Юг» и «Запад-Восток» практически совпадают: их азимут составляет +95° (+275°).

Заключение

Натурными замерами, путем анализа смещений вмещающего породного массива вследствие отработки карьера «Восточный» в масштабах Олимпиадинского месторождения в целом (т. е. на пространственных базах в сотни метров — первые километры) определено первоначальное (т. е. действующее в отсутствие влияния горных работ) и техногенно-измененное напряженное состояние горного массива.

Выполненный комплекс исследований обеспечил получение исходных данных об условиях разработки месторождения и закономерностях развития деформационных процессов, необходимых для проектирования подземной разработки месторождения, а именно: параметров НДС массива горных пород в районе разработки месторождения и параметров трендовых современных геодинамических движений массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балек А. Е.*, *Сашурин А. Д.* Проблема оценки природного НДС горного массива при освоении недр / Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016 — № 21 (специальный выпуск). — С. 9—23

2. Исследование структуры поля напряжений в крепких горных породах и ее влияние на результаты натурных измерений / А. Д. Сашурин, Н. П. Влох, А. В. Зубков, Я. И. Липин, В. Е. Боликов // Измерение напряжений в массиве горных пород (Материалы III семинара, Новосибирск, 27 сентября — 2 октября 1971 г.) / ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1972. — С. 136 — 143.

3. *Панжин А. А.*, *Панжина Н. А.* Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 6. С. 31—40.

4. *Кузьмин Ю. О.* Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная малыми природно-техногенным воздействиями // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2002. № 9. — С. 48—54.

5. *Кузьмин Ю. О.* Геодинамический мониторинг объектов недропользования // Гео-Сибирь. — 2006. Т. 3. № 1. — С. 33—42.

6. *Панжин А. А.* Исследование геодинамических движений CORS для обоснования методики контроля процесса сдвижения на месторождениях уральского региона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. — 2015. № 1 (49). — С. 22—26.

7. *Bock Y.*, *Melgar D.* Physical applications of GPS geodesy: A review // Reports on Progress in Physics. 2016. Т. 79. № 10. С. 106801.

8. *Cherniak I.*, *Zakharenkova I.* New advantages of the combined GPS and GLONASS observations for high-latitude ionospheric irregularities monitoring // Earth, Planets and Space. 2017. Т. 69. № 1. С. 66.

9. *Вдовин В. С.*, *Дворкин В. В.*, *Карпик А. П.* и др. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2018. Т. 23. № 1. — С. 6—27.

10. *Панжин А. А.* О решении проблемы «условно-неподвижного» пункта при исследовании процесса сдвижения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. № 11. — С. 153—163.

11. *Викулин А. В.* Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика // Geodynamics & Tectonophysics. — 2010. Т. 1. № 2. — С. 119—141.

12. *Мазуров Б. Т.* Геодинамические системы (качественное исследование вращательных движений) // Геодезия и картография. — 2017. № 1. — С. 35—39.

13. *Мазуров Б. Т.* Геодинамические системы (решение обратных задач геодезическими методами) // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2017. Т. 22. № 1. — С. 5—17.

14. *Мазуров Б. Т.*, *Силаева А. А.* Структурное моделирование полученных по геодезическим данным сдвижений путем визуализации // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 35—40.

15. *Qinghua Lei, Ke Gao.* A numerical study of stress variability in heterogeneous fractured rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 113. P. 121—133.

16. *Radoslaw L. Michalowski, Dowon Park.* Stability assessment of slopes in rock governed by the Hoek-Brown strength criterion // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020. Vol. 127. Art. 104217.

17. *Сашурин А. Д.* Явления изостазии при разработке месторождений полезных ископаемых // Приложение результатов исследования полей напряжений к решению задач горного дела и инженерной геологии: сб. ст./ ГоИ КФ АН СССР. — Апатиты: Кольский фил. АН СССР, — 1985. — С. 27—31. ГИАБ

REFERENCES

1. Balek A. E., Sashurin A. D. Problem of evaluation of natural stress-strain state of rock mass during development of mineral resources. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. S21. P. 9 23. [In Russ]

2. Sashurin A. D., Vloh N. P., Zubkov A. V., Lipin Ya.I., Bolikov V. E. *Issledovanie struktury polja naprjazhenij v krepkih gornyh porodah i ee vlijanie na rezul'taty naturnyh izmerenij* [Study of the structure of the stress field in hard rocks and its influence on the results of field measurements]. Izmerenie naprjazhenij v massive gornyh porod (Materialy III seminara. Novosibirsk). IGD SO AN SSSR. Novosibirsk. 1972. P. 136 143. [In Russ]

3. Panzhin A. A., Panzhina N. A. Evaluation of geodetic reference points stability as a basis for geodynamic monitoring. News of the Higher Institutions. *Mining Journal.* 2019. no 6. P. 31—40. DOI: 10.21440/0536—1028—2019—6-31—40 [In Russ]

4. Kuzmin Yu. O. Modern anomalous geodynamics of the subsoil, induced by small natural and technogenic impacts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2002. no. 9. P. 48—54. [In Russ]

5. Kuzmin Yu. O. Geodynamic monitoring of subsoil use objects. *Geo-Siberia.* 2006. Vol. 3. no. 1. P. 33—42. [In Russ]

6. Panzhin A. A. Study of the geodynamic movements of CORS to justify the methodology for controlling the displacement process in the fields of the Ural region. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova.* 2015. no. 1 (49). P. 22 26. [In Russ]

7. Bock Y., Melgar D. Physical applications of GPS geodesy: A review. Reports on Progress in Physics. 2016. T. 79. no. 10. C. 106801.

8. Cherniak I., Zakharenkova I. New advantages of the combined GPS and GLONASS observations for high-latitude ionospheric irregularities monitoring. *Earth, Planets and Space.* 2017. T. 69. no. 1. C. 66.

9. Vdovin V. S., Dvorkin V. V., Karpik A. P. etc. Current state and future development of active satellite geodetic networks in Russia and their integration into ITRF. *Vestnik SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies).* 2018. Vol. 23. no. 1. P. 6—27. [In Russ]

10. Panzhin A. A. On the solution of the problem of a «conditionally fixed» reference point in the study of the process of displacement. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011. no. 11. P. 153 163. [In Russ]

11. Vikulin A. V. A new type of elastic rotational waves in the geomedium and eddy geodynamics. *Geodynamics & Tectonophysics.* 2010. Vol. 1. no. 2. P. 119—141. [In Russ]

12. Mazurov B. T. Geodynamic systems (qualitative research of rotational movements). *Geodesy and Cartography.* 2017. no. 1. P. 35—39. [In Russ]

13. Mazurov B. T. Geodynamic systems (solving inverse problems by geodetic methods). *Vestnik SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies).* 2017. Vol. 22. no. 1. P. 5—17. [In Russ]

14. Mazurov B. T., Silaeva A. A. Structural modeling of displacements obtained from geodetic data by visualization. *Geodesy and Cartography.* 2016. no. 3. P. 35—40. [In Russ]

15. Qinghua Lei, Ke Gao. A numerical study of stress variability in heterogeneous fractured rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2019. Vol. 113. P. 121—133.

16. Radoslaw L. Michalowski, Dowon Park. Stability assessment of slopes in rock governed by the Hoek-Brown strength criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. Vol. 127. Art. 104217.

17. Sashurin A. D. *Javlenija izostazii pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh* [Isostasy phenomena in the development of mineral deposits]. Prilozhenie rezul'tatov issledovanija polej naprjazhenij k resheniju zadach gornogo dela i inzhenernoj geologii. GoI KF AN SSSR. Apatity: Kol'skij fil. AN SSSR. 1985. P. 27 — 31. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Панжин Андрей Алексеевич — канд. техн. наук, ученый секретарь, Институт горного дела Уральского отделения РАН, panzhin@igduran.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Panzhin A. A., Cand. Sci. (Eng.), Academic Secretary, Institute of Mining, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, e-mail: panzhin@igduran.ru.

Получена редакцией 21.12.2020; получена после рецензии 02.04.2021 ; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 21.12.2020; received after the review 02.04.2021 ; accepted for printing 10.04.2021.