ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(3-1):235-245
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.831.232 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-235-245

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В РАЙОНЕ КАЧКАНАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С.Н. Тагильцев[1], А.А. Панжин[2]

[1] Уральский государственный горный университет,
[2] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Аннотация: С начала 2000-х годов в районе Качканарского месторождения проводились наблюдения за горизонтальными и вертикальными деформациями земной поверхности с применением GPS технологий. Выявлено, что все наблюдательные пункты испытывают существенные деформации. Показано, что по направлению движений преобладают субширотные подвижки, а вектор движений направлен, главным образом, на восток. Вертикальные смещения опорных пунктов имеют разнонаправленный характер, выявляются участки массива, испытывающие подъём, а также зоны, испытывающие опускание. При этом картина по вертикальным смещениям носит ячеистый характер. На основании предположения, что участки горизонтальных и вертикальных движений формируются процессами деформации породного массива в поле тектонических напряжений, выполнен геомеханический анализ движений по активным тектоническим нарушениям. Анализ базируется на закономерностях, характерных для поля тектонических напряжений в Уральском регионе. В центральной части месторождения выявлены 4 основных зоны вертикальных деформаций. Анализ разломов, разделяющих зоны сжатия и растяжения, свидетельствует, что вектор главного напряжения, генерирующего тектоническую активность горного массива, ориентирован по азимуту 285°. Проведённое исследование показывает, что верхняя часть земной коры реагирует на мощное техногенное воздействие, связанное с добычей полезного ископаемого. Природное поле тектонических напряжений генерирует активизацию существующих и образование новых тектонических нарушений. Результаты современной активизации геологической среды необходимо учитывать при эксплуатации и строительстве техногенных объектов.

Ключевые слова: деформации земной поверхности; напряжённо-деформированное состояние; активные разломы; зоны растяжения и сжатия; вектор главного максимального напряжения.

Для цитирования: *Тагильцев С.Н., Панжин А.А.* Геомеханические закономерности горизонтальных и вертикальных деформаций массива горных пород в районе Качканарского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3-1. — С. 235–245. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-235-245.

Geomechanical regularities of horizontal and vertical deformations of the rock mass in the area of the Kachkanar iron ore Deposit

Tagil'tsev, S.N.[1], Panzhin A.A.[2]

[1] Ural state mining University,
[2] The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

© С.Н. Тагильцев, А.А. Панжин. 2020.

Abstract: Since the beginning of the 2000s, observations of horizontal and vertical deformations of the earth's surface using GPS technologies have been carried out in the area of the Kachkanar field. It was found that all observation points experience significant deformations. It is shown that the direction of movement is dominated by sub-latitude movements, and the vector of movement is directed mainly to the East. Vertical displacements of support points have a multidirectional character. the array sections that are experiencing a rise, as well as zones that are experiencing a fall, are identified. At the same time, the vertical displacement pattern is cellular in nature. Based on the assumption that the areas of horizontal and vertical movements are formed by the processes of deformation of the rock mass in the field of tectonic stresses, a geomechanical analysis of movements based on active tectonic disturbances is performed. The analysis is based on the patterns characteristic of the tectonic stress field in the Ural region. In the Central part of the field, 4 main zones of vertical deformations were identified. Analysis of the faults separating the compression and stretching zones shows that the vector of the main stress generating tectonic activity of the mountain range is oriented along the azimuth of 285°. The study shows that the upper part of the earth's crust reacts to a powerful man-made impact associated with the extraction of minerals. The natural field of tectonic stresses generates activation of existing tectonic disturbances and the formation of new ones. The results of modern activation of the geological environment must be taken into account in the operation and construction of man-made facilities.

Key words: deformations of the earth's surface; stress-strain state; active faults; zones of tension and compression; vector of the main maximum stress.

For citation: Tagil'tsev, S.N., Panzhin A.A. Geomechanical regularities of horizontal and vertical deformations of the rock mass in the area of the Kachkanar iron ore Deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):235-245. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-235-245.

Введение

С начала 2000-х годов в районах карьера Качканарского ГОКа проводились высокоточные наблюдения за горизонтальными и вертикальными деформациями с применением GPS технологий. К 2013 г количество наблюдательных пунктов достигло 36 (рис. 1). В течение 2013 — 2016 гг. наблюдения проводились по отработанной методике, несколько раз в год. За указанный период времени были получены наиболее достоверные данные по развитию деформаций земной поверхности. После обработки данных полевых наблюдений выявилось, что все наблюдательные пункты испытывают существенные горизонтальные деформации. По направлению преобладают субширотные деформации, вектор движений направлен, главным образом, на восток (рис. 1, *а*). За три года наблюдений минимальные смещения пунктов наблюдения составили 10 мм, а максимальные превысили 50 мм. Таким образом, смещение пунктов за один год оценивается величиной от 3 до 15 — 20 мм.

Вертикальные смещения имеют разнонаправленный характер (рис. 1, б). В целом картина по вертикальным смещениям носит псевдо волновой, ячеистый характер. Величина деформаций в зонах положительных вертикальных деформаций, где поверхность земли испытывает подъём, составила 15 — 20 мм. На участках отрицательных деформаций, где поверхность земли испытывает опускание, вертикальные деформации достигают также 15 — 20 мм. Таким образом, как в зонах подъёма поверхности земли, так и в зонах опускания, скорость деформаций составляет в среднем 5 мм в год.

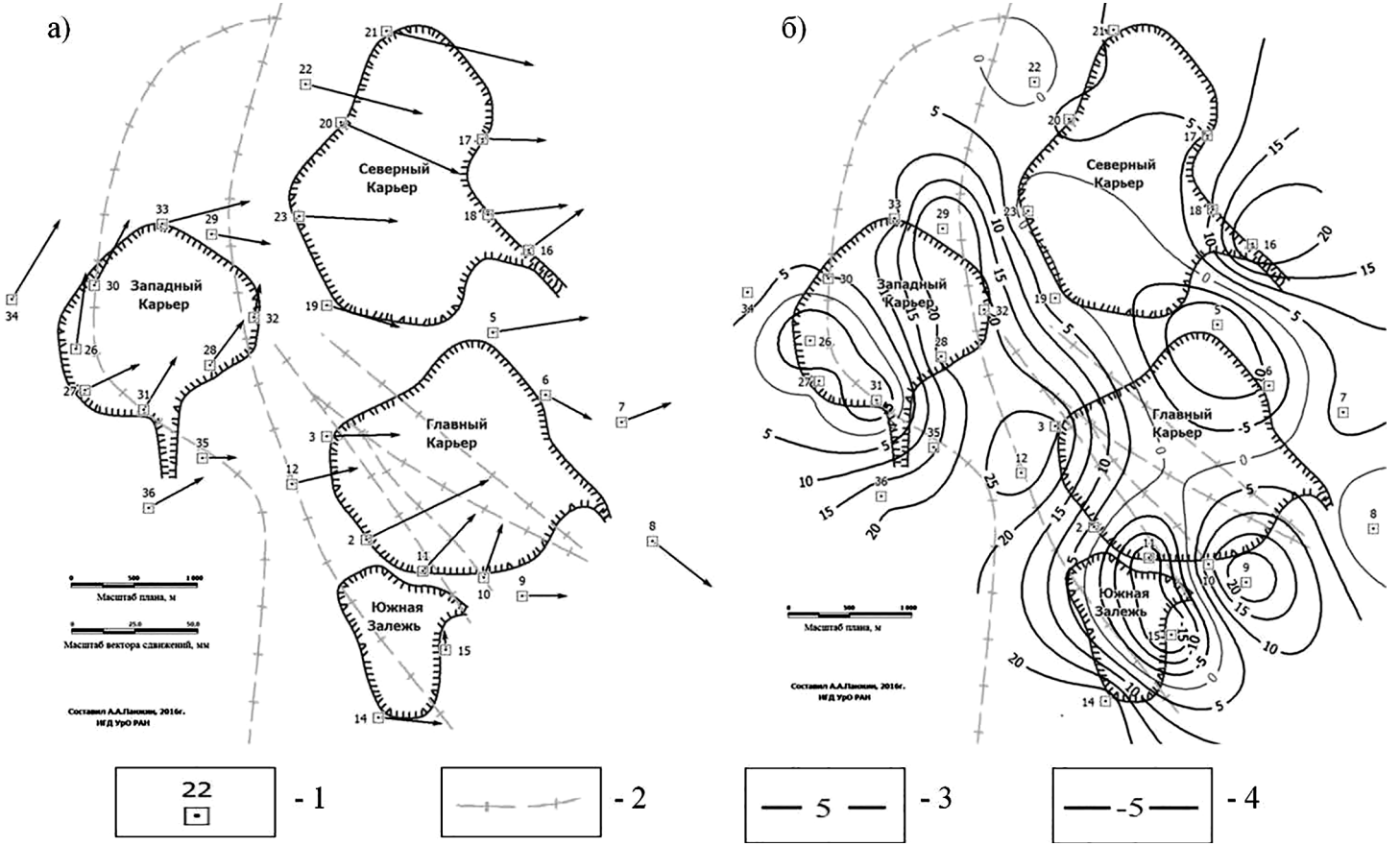

Рис. 1. Интенсивность горизонтальных (а) и вертикальных (б) смещений наблюдательных пунктов Качканарского ГОКа: 1 — наблюдательные пункты; *2 —* основные тектонические нарушения; *3*-изменение положительных вертикальных смещений, мм; *4 —* изменение отрицательных вертикальных смещений, мм

Fig. 1. Intensity of horizontal (a) and vertical (b) displacements of observation points of Kachkanarsky GOK: 1 — observation points; *2 —* main tectonic disturbances; *3 —* change of positive vertical displacements, mm; *4 —* change of negative vertical displacements, mm

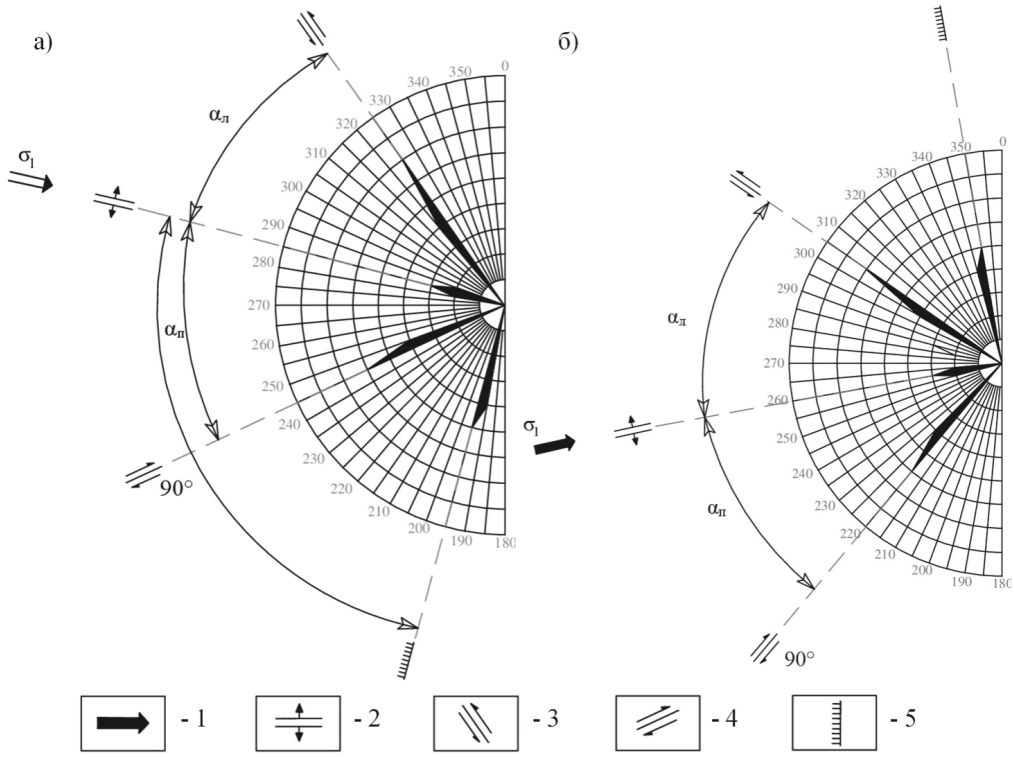

Рис. 2. Преобладающие ориентировки разломов в поле тектонических напряжений с азимутом ГМН 285° (а) и с азимутом ГМН 260°(б): 1 — действие ГМН; *2 —* раздвиги и сбросы; *3 —* левые сдвиги; *4 —* правые сдвиги; *5 —* взбросы; $\alpha_л$ — угол скола левых сдвигов; $\alpha_п$ — угол скола правых сдвигов

Fig. 2. The dominant orientations of faults in the tectonic stress field with GMN azimuth 285° (a) and GMN azimuth 260°(b): 1 — action GMN; *2 —* radwege and discharges; *3* left shifts; *4 —* right shifts; *5 —* reverse faults; al is the angle of cleavage left shifts; AP — angle cleaving of right shifts

Значительная интенсивность горизонтальных и вертикальных смещений, вероятнее всего, в существенной степени определяется большим размахом горных работ на Качканарском месторождении. Вместе с тем, анализ поля деформаций (рис. 2) показывает, что прямой связи с расположением карьеров Качканарского ГОКа не наблюдается. Следует предполагать, что основную роль в развитии вертикальных и горизонтальных деформации играет поле тектонических природных напряжений, которое характерно для Уральской складчатой области. Опираясь на выявленные ранее закономерности тектонических движений [1, 2], можно оценить влияние тектонических процессов на развитие деформаций в этом районе.

Теория и методы исследования

Ориентировка главных максимальных напряжений (ГМН) изучается разными методами. Важный вклад в изучение поля напряжений внесли измерения, которые проводятся инженерами-геомеханиками непосредственно в горных выработках [3, 4]. Большую роль играют структурно-геологические методы изучения полей напряжений [5—7]. Структурно-геологические методы базируются, главным образом,

на изучении ориентировки систем трещин и результатах анализа рисунка разломов, выявленных в процессе геологического изучения массивов горных пород [8—11]. На основании изучения данных по месторождениям полезных ископаемых, которые располагаются на Урале, было выявлено, что ориентировка главного максимального нормального напряжения в современную геологическую эпоху имеет два основных азимута [1]. С начала тектонической активизации Уральского орогена главное максимальное напряжение было ориентировано по азимуту, имеющему среднее значение 285°. Данное направление ГМН продолжает активно действовать и в настоящее время.

Изучение активных тектонических нарушений и рисунка современной речной сети показало, что в четвертичном периоде выявилось существенное влияние главного максимального напряжения, которое действует по среднему азимуту 260°. В настоящее время оба этих направления действуют практически одновременно. Закономерности изменения (чередования) в пространстве и во времени ориентировки ГМН достоверно не выявлены. Деформационные эффекты в виде трещин и разломов указывают на существование двух основных направлений действия ГМН. На разных участках земной коры выявляются зоны с преобладанием одного из указанных направлений. Очень часто фиксируется их совместные проявления в форме определённых ориентировок тектонических структур.

Главное максимальное напряжение действует в поле тектонических напряжений совместно с промежуточным и минимальным главными нормальными напряжениями. Главные нормальные напряжения изменяют свою роль по вертикали геологического разреза и формируют геодинамическую этажность [1, 6, 11]. В свою очередь, геодинамические этажи формируют определенную генерацию (совокупность) тектонических нарушений. Главное нормальное напряжение, действующее по направлению 285°, формирует четыре основных вида тектонических разломов. Параллельно оси ГМН формируются сбросы и раздвиги (рис. 2, *а*). В верхнем геодинамическом этаже возникают надвиги (взбросы). Эти тектонические нарушения ориентированы перпендикулярно направлению действия ГМН и обычно имеют средний азимут простирания 15° (195°).

Наиболее распространённым видом тектонических нарушений являются сдвиги, имеющие субвертикальное падение. Сдвиги образуют с осью ГМН угол скола, который варьирует в довольно широких пределах и зависит от того, какой вид деформации (хрупкой или пластичной) преобладает при формировании сдвига. Хрупкие сдвиги образуют с осью ГМН угол от 30 до 40°. При сочетании пластичной и хрупкой деформации угол скола возрастает и может достигать 60°. Чаще всего угол скола составляет 40—45°. Сдвиги принято разделять на сдвиги левой кинематики («левые») и сдвиги правой кинематики («правые»). В поле напряжений края (борта) правого сдвига испытывают относительное движение по часовой стрелке, борта левых сдвигов — против часовой стрелки.

Для генерации разломов, которые формируются под воздействием ГМН с азимутом 285°, характерны определенные ориентировки основных типов тектонических нарушений. Взбросы ориентированы по азимуту 15° (195°). Левые сдвиги имеют преобладающее простирание 325°, а правые — 245°. Отклонения ориентировки разломов от средних значений, как правило, не превышает 5—10°. Существенное

отклонение характерно для тектонических нарушений с заметным проявлением пластических деформаций. Для хрупко-пластичных левых сдвигов характерно простирание около 340°.

Главное максимальное напряжение, ориентированное по азимуту 260°, формирует свою генерацию разломов [1]. Взбросы имеют среднее простирание 350°, правые сдвиги — 220°. Левые сдвиги этой генерации встречаются реже, для них характерно среднее простирание 300—310° (рис. 2, *б*). В связи с тем, что в большинстве породных массивов указанные ориентировки ГМН действуют совместно, обычно выявляется комплексный рисунок разломов. Необходимо отметить, что ГМН с азимутом 285° формирует, чаще всего, левые сдвиги, а ГМН с азимутом 260° — правые сдвиги. Описанные закономерности позволяют, на конкретном месторождении, выявлять ориентировку главных максимальных напряжений. Определение ориентировки ГМН даёт возможность с высокой степенью достоверности оценивать кинематические типы основных тектонических нарушений (сбросы, взбросы, сдвиги), которые картируются при геологическом изучении месторождений.

Результаты исследования

В районе Качканарских карьеров основные выявленные тектонические нарушения имеют субмеридиональное и северо-западное простирание (рис. 1). По разломам, представленным на геологических картах, была построена роза-диаграмма, которая отражает преобладающие ориентировки тектонических нарушений рассматриваемого района (рис. 3, а). Анализ показывает, что на месторождении хорошо выражены взбросы с азимутами простирания 350° и 190 — 195°. Ориентировка взбросов подтверждает, что для района Качканарского ГОКа характерно типичное для среднего и северного Урала поле тектонических напряжений. Среди сдвигов, выявленных при геологическом картировании, наиболее выражены сдвиги левой кинематики с азимутами простирания 307° и 323°. Слабо выражены разломы с ориентировкой 255° (сбросы) и 225° (правые сдвиги). Таким образом, при анализе деформаций следует опираться на основные закономерности поля тектонических напряжений, характерного для Урала.

Важную информацию о реальных направлениях горизонтальных подвижек дает анализ данных по направлению и интенсивности горизонтальных смещений наблюдательных пунктов (рис. 1, *а*). Стандартная методика обработки векторов горизонтальных смещений как линеаментов [8, 9] позволяет оценить интенсивность деформаций разной ориентировки. В результате обработки исходных данных построена роза-диаграмма ориентировки векторов горизонтальных смещений (рис. 3, *б*). Основные и наиболее интенсивные подвижки происходят по азимуту 105° (285°). Несколько менее, но также интенсивно происходит движение по азимуту 85° (265°). Отсюда следует, что верхняя часть геологического разреза испытывает, в основном, взбросовые движения, направленные с запада на восток. Основное влияние на горизонтальное смещение поверхности земли оказывают движения по взбросам, имеющим западный азимут падения.

Несколько менее выражены, но отчетливо видны движения по азимуту 65° (245°). Следует полагать, что указанная ориентировка векторов определяется подвижками по правым сдвигам, которые генерируются ГМН с азимутом 285°. Средняя интенсивность движения связана с азимутом 33° (213°). Эти подвижки, вероятнее

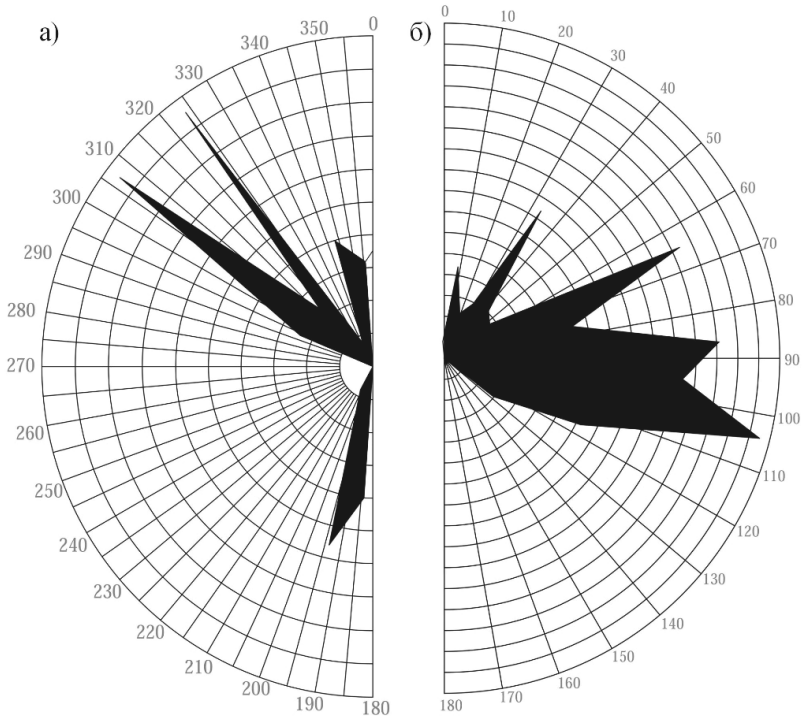

Рис. 3. Ориентировка линеаментов тектонических нарушений (а) и векторов горизонтальных движений (б)

Fig. 3. Orientation of lineaments of tectonic disturbances (a) and vectors of horizontal movements (b)

всего, являются правыми сдвигами, которые связаны с воздействием ГМН, имеющим ориентировку 260°. Относительно слабо, но достаточно отчётливо, выявляются подвижки субмеридионального (северного) направления, имеющие азимут 10° (рис. 3, *б*). Учитывая, что простирание сбросов параллельно ориентировке ГМН, движения по ним перпендикулярны оси главного напряжения. Следует полагать, что эти движения имеют сбросовый характер и определяются ГМН с азимутом 285°. В связи с тем, что для сбросов характерно крутое падение, эти сбросы, вероятнее всего, отличаются значительной интенсивностью движений с преобладанием вертикальной составляющей подвижек.

Помимо анализа «пиков» диаграммы (рис. 3, *б*), имеющих чётко выраженный характер, необходимо отметить, что участок диаграммы, имеющий максимум 105°, отличается широким диапазоном азимутов (от 95° до 125°). Значительный диапазон движений в указанном диапазоне позволяет полагать, что помимо движений по взбросам это направление отражает подвижки левой кинематики по сдвигам. Таким образом, наиболее интенсивные движения происходят по разломам, которые генерируются ГМН, действующего по азимуту 285°. Существенно слабее проявляются движения, происходящие под воздействием ГМН с азимутом 260°.

Формирование зон вертикальных деформаций, как правило, связано с возникновением зон сжатия и растяжений в поле тектонических напряжений [8, 12—14]. Геомеханическая схема форми-

рования зон сжатия и растяжения геологической среды при пересечении сдвигов (рис. 4, *а*) показывает, что зоны растяжения формируются в северном и южном секторах при пересечении разломов (при широтной ориентировке ГМН) [15]. В свою очередь, зоны сжатия занимают западный и восточный сектора. Если формирование этих зон возникает под воздействием какого-то одного ГМН, то ось, проходящая через центр и разделяющая углы сжатия пополам, показывает ориентировку главного нормального напряжения. Другие схемы взаимодействия разломов основных кинематических типов приведены в работе [13].

В центральной части района Качканарского месторождения выявлены 4 основных зоны вертикальных деформаций (рис. 4, *б*). Зоны сжатия занимают западный и восточный сектора, зоны растяжения — северный и южный. Если между зонами провести разделяющие линии, то можно измерить ориентировку этих линий. Ориентировка линии, разделяющей зоны сжатия и растяжения в северной части территории, составляет 325° (145°). Ориентировка этой линии показывает, что ее формирование происходит по сдвигу, имеющему левую кинематику движения. Северную и южную части территории разделяет линия с азимутом 245° (65°). Следует полагать, что по этой линии располагается сдвиг с правой кинематикой движения. В южной части территории линия, разделяющая зону сжатия и растяжения, имеет азимут 145°, т.е. имеет тот же азимут, что и северный сдвиг. Некоторое смещение разломов левой кинематики по тектоническому нарушению с азимутом 245° позволяет полагать, что этот разлом является более молодым по возрасту, и вероятно, более активным в современный геологический период.

Если провести биссектрисы углов западного и восточного сектора, то можно оценить ориентировку оси главного максимального напряжения, которое является более активным на данном участке. Биссектрисы углов имеют азимут 285° (105°). Данные построения заставляют считать, что на изучаемом участке недр наиболее активными являются разломы, связанные с ГМН, имеющим азимут 285°. Таким образом, зоны сжатия и растяжения, которые активно развиваются в настоящее время в районе карьеров Качканарского ГОКа, связаны с активными разломами. Движения по этим разломам и их генезис связаны, преимущественно, с ГМН, вектор которого ориентирован по азимуту 285°.

Выводы

1. В результате высокоточных GPS-наблюдений в районе Качканарского месторождения выявлены горизонтальные и вертикальные деформации земной поверхности. Интенсивность горизонтальных деформаций составляет 15—20 мм в год, а вертикальных деформаций 5—7 мм в год. Горизонтальные смещения имеют восточное и северо-восточное направление. Главное максимальное напряжение имеет субширотную ориентировку. Вертикальные смещения поверхности разделяются на положительные (поднятия) и отрицательные (опускания поверхности земли). Поле вертикальных деформаций в горизонтальной плоскости носит ячеистый, вероятно блоковый характер.

2. Главное максимальное напряжение проявляется в двух основных направлениях. Вектора ГМН имеют наиболее часто встречаемую на Урале ориентировку 285° и 260°. На геологической карте сильнее выражены субмеридиональные взбросы и сдвиги северо-западного направления. Поле тектонических напряжений генерирует образование и активизацию сети тектонических нарушений. Помимо разломов, получивших

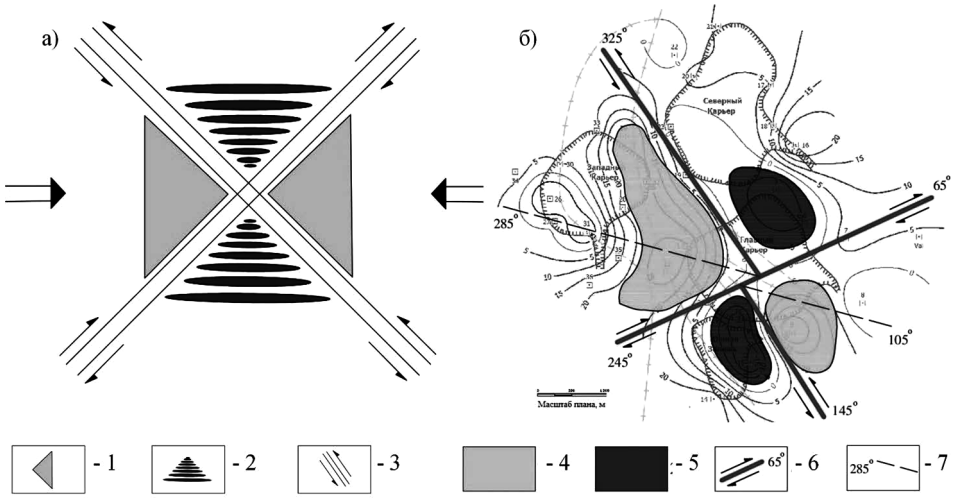

Рис. 4. Геомеханическая схема формирования зон: сжатия и растяжения при пересечении сдвигов (а) и вертикальных деформаций в районе карьеров Качканарского месторождения: *1* — зоны сжатия; *2* — зоны растяжения; *3* — направление движения по швам разломов; *4* — зоны положительных вертикальных деформаций (зоны поднятия); *5* — зоны отрицательных вертикальных деформаций (зоны опускания); *6* — простирание активных разломов и направление движений по ним; *7* — простирание биссектрисы угла между сопряженными разломами

Fig. 4. Geomechanical diagram of the formation of zones: compression and stretching at the intersection of shear (a) and vertical deformations in the area of the Kachkanar field quarries: *1* — compression zones; *2* — stretching zones; *3* — direction of movement along the fault seams; *4* — zones of positive vertical deformations (zones of elevation); *5* — zones of negative vertical deformations (zones of lowering); *6* — stretch of active faults and the direction of movement along them; *7* — stretch of the angle bisector between conjugate faults

отражение на геологической карте, современная тектоническая активность проявляется в сдвигах северо-восточного простирания.

3. Система активных разломов формирует сеть зон сжатия и растяжения. В зонах сжатия возникают вертикальные положительные деформации до 7 мм в год. В зонах растяжения возникают вертикальные деформации проседания, составляющие 5—7 мм в год. Зоны сжатия и растяжения, которые активно развиваются в настоящее время в районе Качканарского месторождения, связаны, преимущественно, с главным максимальным напряжением, вектор которого ориентирован по среднему азимуту 285°.

4. Верхняя часть земной коры активно реагирует на мощное техногенное воздействие в районах добычи полезных ископаемых. Природное поле тектонических напряжений генерирует активизацию существующих и образование новых тектонических нарушений. Результаты современной активизации геологической среды в виде деформаций горизонтального и вертикального характера необходимо учитывать при эксплуатации и строительстве техногенных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тагильцев С.Н.* Закономерности пространственного расположения тектонических нарушений в поле современного напряженного состояния земной коры // Горный журнал. Изв. ВУЗов. — 2018. № 7. С. 52—66.

2. *Гуляев А.Н.* Сейсмичность и сейсмическое районирование Урала // Горный журнал. Изв. ВУЗов. — 2016. — № 6. — С. 116—124.

3. *Влох Н.П.* Управление горным давлением на подземных рудниках. — М.: Недра, 1994. — 207 с.

4. *Тажибаев К.Т.* Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. — Бишкек: Алтын Принт-2016, 352 с.

5. *Артюшков Е.В.* Физическая тектоника — М.: Наука, 1993. — 302 с.

6. Тектонический кодекс России //Г.С. Гусев, Н.В. Межелевский, А.В. Гущин и др. — М.: Геокарт: Геос, 2016. — 240 с.

7. *Foulger G.R.*, *Wilson M.P.*, *Gluyas J.G.*, *Julian B.R.*, *Davies R.J.* Global review of human-induced earthquakes // Earth-Science Reviews. — 2018. — Т. 178. — pp. 438—514.

8. *Гончаров М.А.*, *Талицкий В.Г.*, *Фролова Н.С.* Введение в тектонофизику — М.: КДУ, 2005. — 496 с.

9. *Шерман С.Н.*, *Днепровский Ю.И.* Поля напряжений земной коры и геолого–структурные методы их изучения. — Новосибирск: Наука, 1989. — С. 158.

10. *Zoback M.L.* First- and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: The World Stress Map Project//Journal of Geophysical Research, 1992. — V.97. — no B8. pp. 11761–11782.

11. *Bird C.* Planetary Grid. //New Age Journal. 5. 1975. pp. 36—41.

12. *Golozubov V.V.*, *Kasatkin S.A.*, *Malinovskii A.I.*, *Nechayuk A.E.*, *Grannik V.M.* Dislocations of the Cretaceous and Cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin Terrane. // Geotectonics. — 2016. — 50 (4). — pp. 439—452.

13. *Тагильцев С.Н.*, *Кибанова Т.Н.* Гидрогеомеханические структуры растяжения и сжатия в поле современных тектонических напряжений. // Изв. Вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 63—69.

14. *Ma C.*, *Meyers S.R.*, *Sageman B.B.* Theory of chaotic orbital variations confirmed by Cretaceous geological evidence // Nature — 2017. – Т. 542 (7642). – P.468—470.

15. *Zanutta A.*, *Negusini M.*, *Vittuari L. et al.* Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements // Journal of Geodynamics. — 2017. — Vol. 110. — pp. 31—42. ГИАБ

REFERENCES

1. Tagil'cev S.N. Regularities of the spatial arrangement of tectonic disturbances in the field of the current stress state of the Earth's crust. *Gornyj zhurnal. Izv. VUZov.* 2018. no 7. pp. 52—66. [In Russ]

2. Gulyaev A.N. Seismicity and seismic zoning of the Urals. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Gornyj zhurnal. Izv. VUZov*. 2016. no 6. pp. 116—124. [In Russ]

3. Vloh N.P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnyh rudnikah* [Underground Mining Pressure Management]. Moscow, Nedra, 1994, 207 p. [In Russ]

4. Tazhibaev K.T. *Naprjazhenija, processy deformacii i dinamicheskogo razrushenija gornyh porod* [Stresses, processes of deformation and dynamic destruction of rocks]. Bishkek, Altyn Print, 2016, 352 p. [In Russ]

5. Artjushkov E.V. *Fizicheskaja tektonika* [Physical tectonics]. Moscow, Nauka, 1993, 302 p. [In Russ]

6. Gusev G.S., Mezhelevskij N.V., Gushin A.V. et al. *Tektonicheskij kodeks Rossii* [Tectonic Code of Russia]. Moscow, Geokart, 2016, 240 p. [In Russ]

7. Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J. Global review of human-induced earthquakes. Earth-Science Reviews. 2018. T. 178. pp. 438—514.

8. Goncharov M.A., Talickij V.G., Frolova N.S. *Vvedenie v tektonofiziku* [Introduction to Tectonophysics]. Moscow, KDU, 2005, 496 p. [In Russ]

9. Sherman S.N., Dneprovskij Ju.I. *Polja naprjazhenij zemnoj kory i geologo–strukturnye metody ih izuchenija* [Stress fields of the earth's crust and geological-structural methods for their study]. Novosibirsk, Nauka, 1989, 158 p. [In Russ]

10. Zoback M.L. First- and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: The World Stress Map Project//Journal of Geophysical Research, 1992. V.97. no B8. pp. 11761–11782.

11. Bird C. Planetary Grid. *New Age Journal*. 5. 1975. pp. 36 — 41.

12. Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Malinovskii A.I., Nechayuk A.E., Grannik V.M. Dislocations of the Cretaceous and Cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin Terrane.. Geotectonics. 2016. 50 (4). pp. 439 — 452.

13. Tagil'cev S.N., Kibanova T.N. Hydrogeomechanical structures of tension and compression in the field of modern tectonic stresses. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2017, no 7, pp. 63 — 69. [In Russ].

14. Ma C., Meyers S.R., Sageman B.B. Theory of chaotic orbital variations confirmed by Cretaceous geological evidence. Nature 2017. T. 542 (7642). P.468 — 470.

15. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L. et al. Monitoring geodynamic activity in the Victoria Land, East Antarctica: Evidence from GNSS measurements. Journal of Geodynamics. 2017. Vol. 110. pp. 31 — 42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тагильцев Сергей Николаевич[1] — докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, tagiltsev@k66.ru,
Панжин Андрей Алексеевич[2] — канд. техн. наук, ученый секретарь, panzhin@igduran.ru,
[1] Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30,
[2] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.
Для контактов: Панжин А.А.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tagil'tsev, S.N.[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, head of the Department of hydrogeology, engineering Geology and Geoecology,
Panzhin A.A.[2], Cand. Sci. (Eng.), scientific Secretary,
[1] Ural state mining University, 620144, Yekaterinburg, Russia, tagiltsev@k66.ru,
[2] The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia, panzhin@igduran.ru.
For contacts: Panzhin A. A.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 07.02.2020; принята к печати 20.03.2020.
Received by the editors 21.11.2019; received after the review 07.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.