

НОВО-ШЕМУРСКОЕ МЕДНОКОЛЧЕДАННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ И ЕГО ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Е. В. Кадышева, В. В. Филатов, Ю. Ф. Юрин

Поисковые критерии и признаки, отражающие закономерности процесса рудообразования, составляют основу прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Универсальным свойством этого процесса для месторождений многих типов является напряженно-деформированное состояние геологической среды. Для его изучения, кроме традиционных методов тектонофизики, может применяться метод тектонофизического анализа поля силы тяжести. Он базируется на функциональной зависимости между характеристиками поля деформации, обусловленного плотностной неоднородностью среды, и характеристиками гравитационного поля. Метод был применен для изучения напряженно-деформированного состояния района Ново-Шемурского медноколчеданного месторождения. Установлено, что изменчивость тензора напряжений (деформаций) является устойчивым и характерным признаком месторождений. *Ключевые слова:* поисковый признак; прогнозирование месторождений; напряженно-деформированное состояние; тектонофизический анализ; гравитационное поле; Ново-Шемурское медноколчеданное месторождение; дилатация; рудообразование.

В географическом отношении Ново-Шемурское медноколчеданное месторождение находится в западной части Ивдельского района Свердловской области, в 40 км к западу от г. Ивделя. Месторождение было открыто в сентябре 1976 г. геологами Северной геологоразведочной экспедиции в связи с определением геологической природы двух аномалий: локальной положительной аномалии силы тяжести и аномалии вызванной поляризации (ВП).

Обе аномалии были выявлены в том же году геофизиками Серовской геофизической партии. Гравитационная аномалия, вытянутая в северо-северо-западном направлении, состоит из двух фрагментов: северного (А1) и южного (А2) (рис. 1). Северный фрагмент овальный в плане и вытянут в субмеридиональном направлении. Его интенсивность около 1,5 мГал. Размеры фрагмента по замкнутой изоаномали 78,50 мГал 250–150 м; величина горизонтального градиента по всем направлениям относительно точки экстремума примерно одинакова, изменяется в интервале 60...100 Е, что может свидетельствовать о субвертикальном падении контактов источника аномалии. Южный фрагмент аномалии имеет в плане ромбовидную форму. Его интенсивность около 2,8 мГал. Длинная ось фрагмента, про-

тяженность которой по замкнутой изоаномали 78,0 мГал, составляет около 800 м, ориентирована в северо-западном направлении; длина короткой оси северо-восточной ориентировки около 700 м. Горизонтальные градиенты на северо-восточной и северо-западной сторонах фрагмента примерно одинаковы и оценены в 160 Е, а на юго-западной и юго-восточной сторонах оценены в 70 Е. Это может свидетельствовать о падении источника аномалии на юго-восток по направлению простираения длинной оси фрагмента.

Качественный анализ параметров гравиметрической аномалии позволяет сделать вывод, что, во-первых, ее источник (или источники) компактен, обладает большой плотностью и малой глубиной залегания. Во-вторых, в пределах участка гравиметрической аномалии была выявлена аномалия ВП – аномалия поляризуемости интенсивностью более 10 %. Такая высокая поляризуемость характерна для объектов, представленных прожилково-вкрапленными рудами. В-третьих, участок с аномальными геофизическими характеристиками находится вблизи Шемурского месторождения. Эти три обстоятельства позволили в 1976 г. считать участок весьма перспективным на обнаружение в его пределах рудопроявления или месторождения медноколчеданных руд.

Было принято решение о проверке геологической природы выявленных аномалий, которая и привела к открытию месторождения, названного Ново-Шемурским.

В последующие годы на месторождении

был выполнен широкий комплекс геологических, геофизических, геохимических, петрофизических и иных исследований, результаты которых дали всестороннее представление о нем.

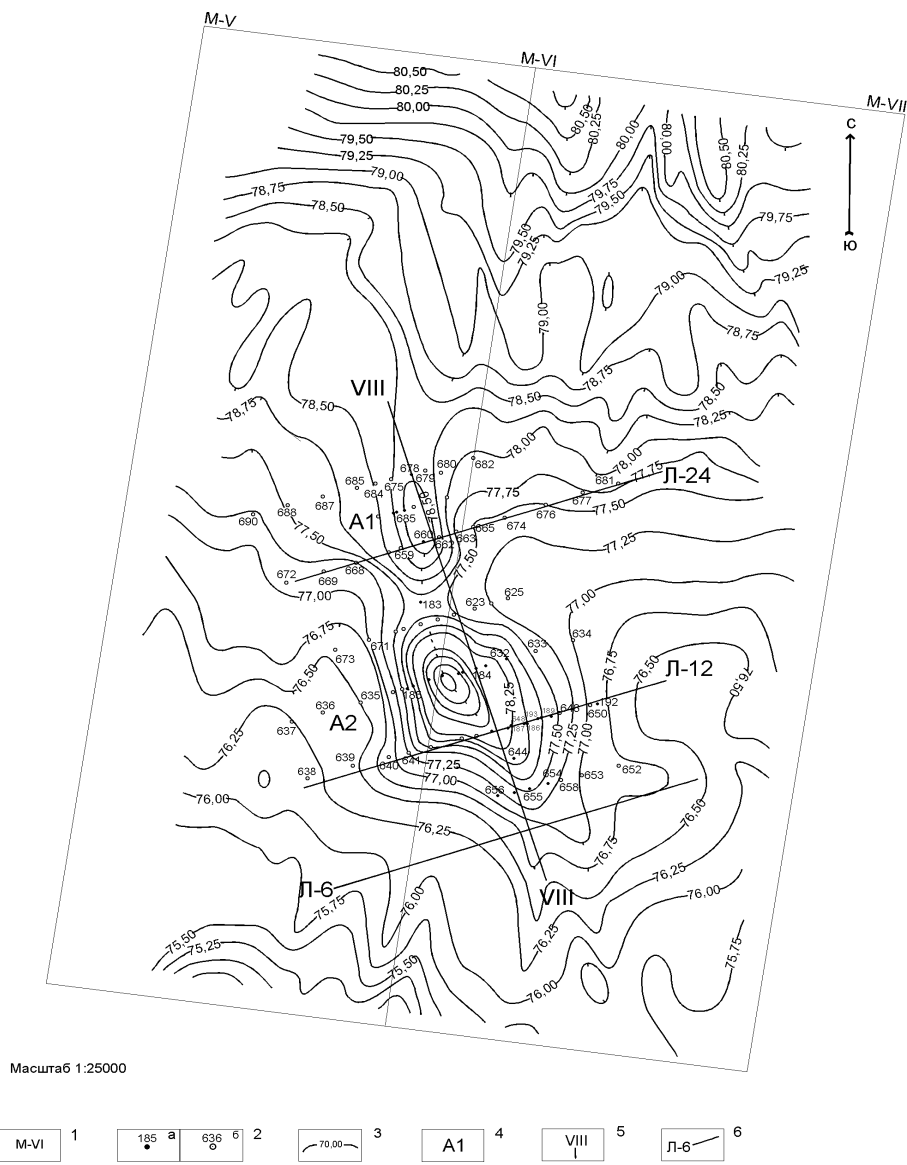


Рис. 1. Схема аномалий силы тяжести в топографической редукции Буге с поправкой за рыхлые отложения (в условном уровне):

1 – геофизическая магистраль и ее номер; 2 – пройденные по состоянию на сентябрь 1977 г. картировочные и поисковые скважины, из них а) рудные; б) безрудные; 3 – изолинии аномалий силы тяжести, мГал; 4 – фрагмент геофизической аномалии и ее номер; 5 – разведочный профиль и его номер; 6 – разведочная линия и ее номер

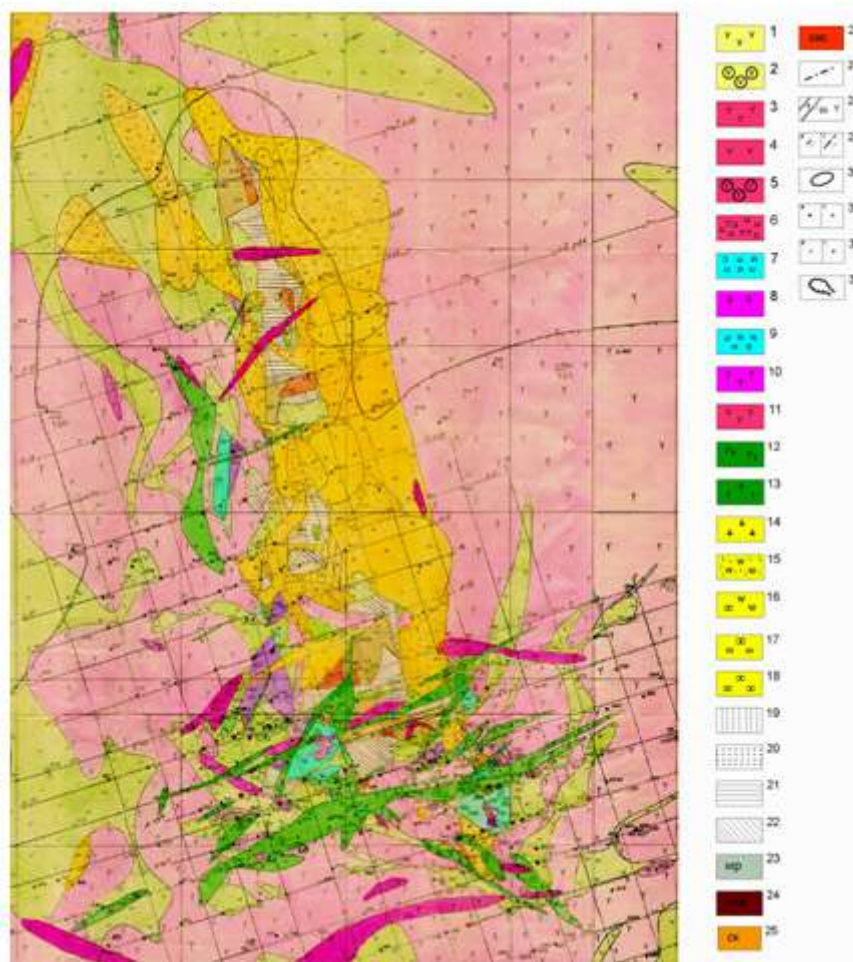
Всего на месторождении пробурено около 250 поисковых и разведочных скважин глубиной от 80 до 995 м (средняя глубина опоскования месторождения, согласно материалам разведочных работ Северной ГРЭ

1976–1986 гг., составляет около 380 м).

В результате выполненных исследований определено, что вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения, развитые в промежутке между массивами Денежкин Ка-

мень и Южно-Помурским, представляют собой отложения контрастной риолит-базальтовой вулканогенной формации натровой серии (рис. 2). На основе выявления заметных ли-

толого-фациальных, петрографо-петрохимических, геохимических особенностей вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, слагающих геологический разрез мощных (более



Масштаб 1 : 2000

Рис. 2. Геологический план Ново-Шемурского месторождения [12]:

Вулканогенные породы: 1 – базальт; 2 – межпотоковый агглютинат базальтов (долеритов); 3 – дацит плаггиоклазовый, редко кварц-плаггиоклазовый, мелкопорфировый; 4 – пенистая кислая лава, иногда с обрывками пемзы; 5 – межпотоковые агломеративные образования дацитов (лавобрекчии, кластолавы); 6 – туф кислого состава; 7 – туф смешанного состава; 8 – риодацит мегафириновый, кварц-плаггиоклазовый. *Вулканогенно-осадочные и осадочные породы:* 9 – туффит кремнистый, яшма. *Жильный комплекс:* 10 – риодацит кварц-плаггиоклазовый, редко плаггиоклазовый или амфибол-кварц-плаггиоклазовый, мегафириновый; 11 – дацит плаггиоклазовый; 12 – габбро-долерит; 13 – долерит. *Метасоматиты:* 14 – брекчия метасоматическая, тектоно-метасоматическая; 15 – метасоматит, состоящий из кварца и серицита; 16 – метасоматит, состоящий из переменных количеств серицита, хлорита и кварца; 17 – метасоматит, состоящий из кварца и хлорита; 18 – хлоритолит. *Рудная минерализация:* 19 – жильково-вкрапленная пиритная минерализация (серы от 10 до 35 %); 20 – вкрапленность пирита (серы от 3 до 10 %); 21 – предполагаемая рудная масса по геологическим и геофизическим данным; 22 – забалансовая руда. *Сорта руд:* 23 – медная руда (0,5 %); 24 – медно-цинковая руда; 25 – серный колчедан рядовой (35 %); 26 – серный колчедан. *Прочие обозначения:* 27 – разрывные нарушения; 28 – элементы залегания пород; 29 – ориентировка: а) флюидности; б) сланцеватости; 30 – обнажения коренных пород; 31 – скважины: а) разведочные; б) пробуренные ранее; 32 – скважины: а) опробованные на газовый анализ; б) с результатами проб на вторичную медь более 15 %; 33 – контур карьера

1000 м) накоплений контрастной формации, создалась возможность расчленить его на два этажно залегающих ритма контрастного вулканизма: раннего, выделенного как отложения

нижнешемурской толщи, и последующего – как отложения верхнешемурской толщи. В каждой толще нижняя половина разреза представлена преимущественно базальтами и долерита-

ми, а верхняя – вулканитами кислого петрохимического состава. При этом промышленное медноколчеданное оруденение сосредоточено в породах кислой подтолщи нижнешемурской толщи, а в верхнешемурской толще буровыми и геологосъемочными работами не выявлены не только колчеданные руды, но и участки проявления окolorудных метасоматитов [1].

Месторождение состоит из двух основных рудных залежей, вытянутых вдоль рудоподводящего разлома в меридиональном направлении на 1050 м (рис. 3). Рудные тела залегают в верхней части горизонта пористых пород и в расположенном выше лавовом горизонте. По отношению к ореолу метасоматически измененных пород рудные тела расположены на его верхней границе с перекрывающими породами. Первая залежь расположена южнее раз-

ведочной линии 20, имеет в плане изометричную форму с почти одинаковыми размерами по простиранию и вкрест простирания, равными 50 м; падение западного контакта залежи западное под углом 30...35°, восточного – восточное под углом 20...25°; склонение южное под углом около 45°. Максимальная мощность рудного тела не превышает 250 м. Верхняя половина залежи сложена медными и медно-цинковыми рудами, нижняя – серным колчеданом; западный фланг представлен сплошными рудами медно-цинкового состава; восточный состоит из руд различных типов и сортов.

Вторая залежь имеет в плане форму неправильного овала; ее длина около 520 м, размеры вкрест простирания изменяются от 100 до 220 м; залежь падает на запад под

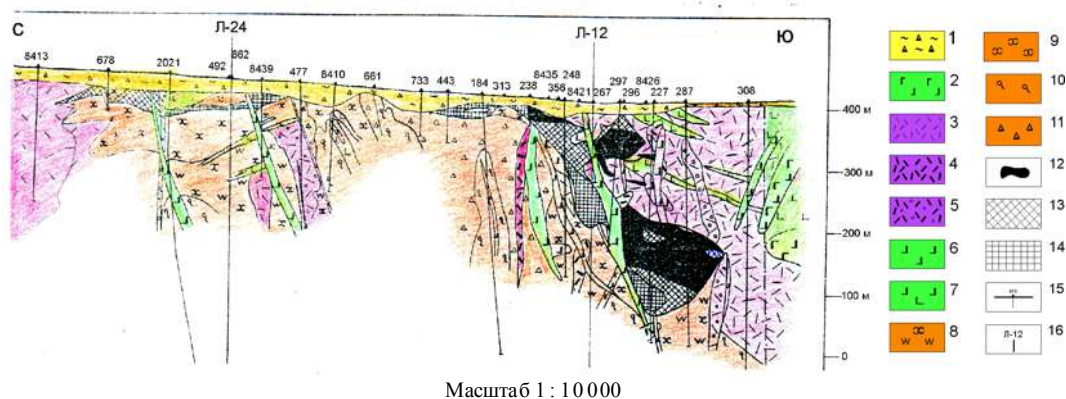


Рис. 3. Геологический разрез по продольному профилю VIII:

- 1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – базальты; 3 – риолито-дациты; 4 – дайки кварц-плагиоклазовых дацитов; 5 – дайки дацитов; 6 – дайки долеритов; 7 – дайки габбро-долеритов; 8 – хлорит-кварцевые метасоматиты; 9 – хлоритолиты; 10 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 11 – тектоно-метасоматические брекчии; 12 – массивные медно-цинковые руды; 13 – массивные медноколчеданные руды; 14 – массивные серноколчеданные руды; 15 – скважина и ее номер; 16 – разведочная линия и ее номер

углом 30...45° и сложена в основном серным колчеданом. Если верхняя часть рудной залежи залегает согласно с вмещающими породами, то нижняя – корневая, расположенная в пределах рудоподводящего разлома, непосредственно над тектономагматическими брекчиями, сечет вмещающие породы. От корневой части рудной залежи в южном, западном и восточном направлениях отходят небольшие апофизы, которые, как верхняя часть рудных тел, наблюдаются за пределами зоны метасоматически измененных пород на расстояниях до 200 м. Контакты рудных тел с вмещающими их туфами и межпотоковыми брекчиями здесь резкие, без плавных переходов, а руды богатые, чаще

всего медно-цинковые. Характерная особенность (закономерность) в пространственном распределении руд заключается в их смене от нижней части залежи вверх и к флангам от серного колчедана на медную и медно-цинковую руду. Контакт корневой части главной рудной залежи с подстилающими породами плавный, сопровождающийся зоной прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд, они отмечаются по данным метода ВП аномалией поляризуемости более 10 %.

Кроме основных рудных залежей, разведано 17 небольших рудных тел линзовидной и лентообразной формы, мощность которых составляет 10...20 м, протяженность

– 50...150 м, размеры вкрест простирания – 50...70 м. Эти тела гипсометрически расположены на тех же уровнях, что и апофизы основных рудных тел; представлены они медно-цинковой рудой, часто с магнетитом, гематитом, реже с пирротинном. Руды слоистые, слоистость согласна с напластованием вмещающих пород.

Механизм образования месторождения, согласно представлениям П. П. Санковича, Э. В. Киркина, заключается в следующем: «Поступавший по рудоподводящему разлому на дно палеобассейна рудный материал отлагался вблизи выхода разлома в виде линз, лент, небольших пластов. Рудоотложение происходило обычно во время локальных перерывов в накоплении лав, поэтому руды ассоциируются с обломочными продуктами вулканизма... Согласно рудные залежи захоранивались новыми потоками лав, на которые из продолжавшего функционировать рудоподводящего разлома поступали новые порции рудного вещества. Таким образом сформировалась корневая часть рудной залежи. Верхняя ее часть, а также мелкие... рудные тела сохранили признаки осадочного рудоотложения. Следовательно, месторождение имеет комбинированный (эксгалиционно-осадочный и гидротермально метасоматический) генезис».

Хорошо известно, что изучение геологических структур и месторождений будет неполным, если не исследован механизм их формирования. Эта проблема решается на основе геодинамического анализа геолого-структурной информации. В. И. Старостин [2], например, предложил дополнить морфологическую характеристику рудных структур следующими классификационными признаками: петрофизические свойства среды, термодинамические условия структурообразования, региональный тектонический режим, механизмы деформирования среды, структурный парагенезис и полихронность палеотектонической обстановки. Перечисленные признаки являются неслучайными: петрофизические свойства среды, термодинамика и региональная геотектоническая обстановка – это условия, в которых происходит формирование месторождения. Условия, в свою очередь, определяют механизм деформирования пород, приводящий к образованию структурного парагенезиса как

совокупности пликативных и разрывных элементов, возникших в одном тектоническом режиме. Полихронность же есть временная развертка процессов формирования структур. Таким образом, система признаков достаточно полно характеризует геодинамический процесс формирования структур, центральным моментом в изучении которого является оценка и анализ напряженно-деформированного состояния среды.

В настоящее время для решения этой задачи используются различные методы: геологические, геомеханические, геофизические, методы физического и численно-аналитического моделирования, а также метод тектонофизического анализа гравитационного поля [3, 4], который был применен для прогнозирования Березняковского золото-порфирового месторождения [5], оценки сейсмичности района г. Екатеринбурга [6] и изучения Березовского золоторудного месторождения [7].

На Ново-Шемурском месторождении авторами был выполнен тектонофизический анализ с использованием результатов площадной гравиметрической съемки, проведенной в районе месторождения: масштаб съемки 1 : 10 000, средняя квадратическая погрешность $\pm 0,066$ мГал. На самом месторождении были выполнены более детальные измерения в масштабе 1 : 5000 по сети 50–100 × 20 м со средней квадратической погрешностью $\pm 0,06$ мГал.

Методика тектонофизического анализа поля силы тяжести позволяет вычислять различные характеристики поля деформации геологической среды. Три главных значения и девять направляющих косинусов, характеризующих три главных направления, являются основной информацией о напряженно-деформированном состоянии среды, извлекаемой из результатов гравиметрических съемок в результате решения задачи. Кроме главных значений, являющихся по физическому смыслу относительными растяжениями-сжатиями вдоль главных осей, деформация описывается рядом параметров, имеющих простой физический смысл. Это первый инвариант тензора или дилатация (относительное изменение объема среды), который определяется как сумма трех главных значений тензора чистой деформации по формуле:

$$\theta = e_1 + e_2 + e_3 = \operatorname{div} \vec{S},$$

где $\text{div}\bar{S}$ – расходимость вектора смещения; e_1, e_2, e_3 – главные значения тензора чистой деформации [8].

Для района Ново-Шемурского месторождения были выполнены расчеты в узлах квадратной сети 100×100 м главных значений ($e_1 > e_2 > e_3$) и главных направлений или осей тензора чистой деформации и дилатации.

На рис. 4 приведены результаты расчета первых двух главных значений тензора (e_1 и e_2). Главные направления, соответствующие этим значениям, лежат в горизонтальной плоскости, т. е. в плоскости измерения поля силы тяжести, совмещенной с дневной поверхнос-

тью. Третье главное направление перпендикулярно этой плоскости. Все три главных значения являются и относительными растяжениями, и относительными сжатиями.

Из анализа рис. 4 следует, что главные значения (e_1 и e_2) и главные направления в пределах месторождения резко отличаются и величиной, и ориентировкой от таковых для вмещающей среды. На месторождении главные значения принимают максимальные значения как положительные (растяжение), так и отрицательные (сжатие). Область месторождения, характеризующаяся максимальными значениями деформации сжатия e_1 , окон-

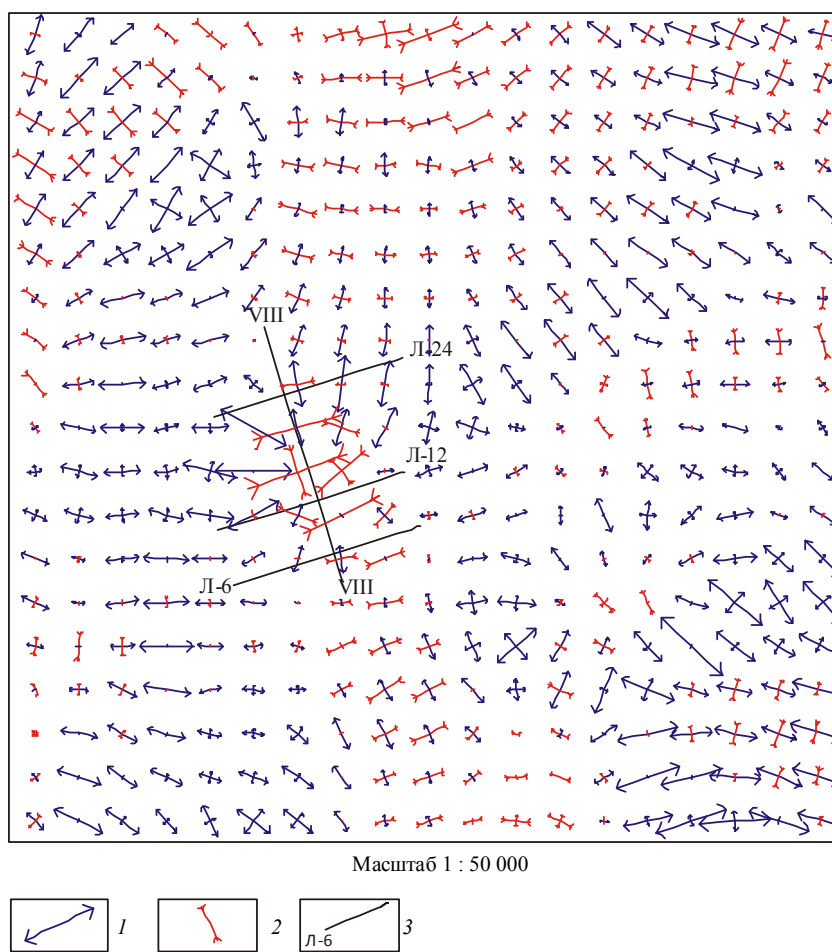


Рис. 5. Схема дилатации:
1 – изолинии дилатации; 2 – разведочные линии

турена зоной, которая характеризуется деформацией растяжения, а главные направления в ее пределах имеют радиальную ориентировку. Ранее [2, 9, 10] на основании результатов тектонофизического анализа, выполненного на месторождениях различного генезиса, было установлено, что главные направления и глав-

ные значения тензора напряжения (т. е. тензора чистой деформации) в их пределах резко отличаются от них же во вмещающей месторождения среде. Таким образом, изменчивость тензора напряжений (деформаций) является устойчивым и характерным признаком рудных месторождений. Авторами статьи

этот же вывод получен и для Ново-Шемурского месторождения, поскольку он представляет собой закономерность, присущую определенной группе рудных месторождений. Но только этот вывод установлен не путем изучения деформационных структур месторождения (трещин, разрывов и др.), как это делается в классическом тектонофизическом анализе, а на основе тектонофизического анализа аномального поля силы тяжести.

На рис. 5 показаны результаты вычисле-

ния дилатации и, которая в пределах месторождения также является и отрицательной (относительное уменьшение объема деформируемой среды, т. е. ее сжатие) и положительной (относительное увеличение объема деформируемой среды, т. е. ее расширение).

Месторождение характеризуется интенсивной отрицательной дилатацией, величина которой плавно уменьшается в северном и южном направлениях от месторождения. Область отрицательной дилатации с запада и с

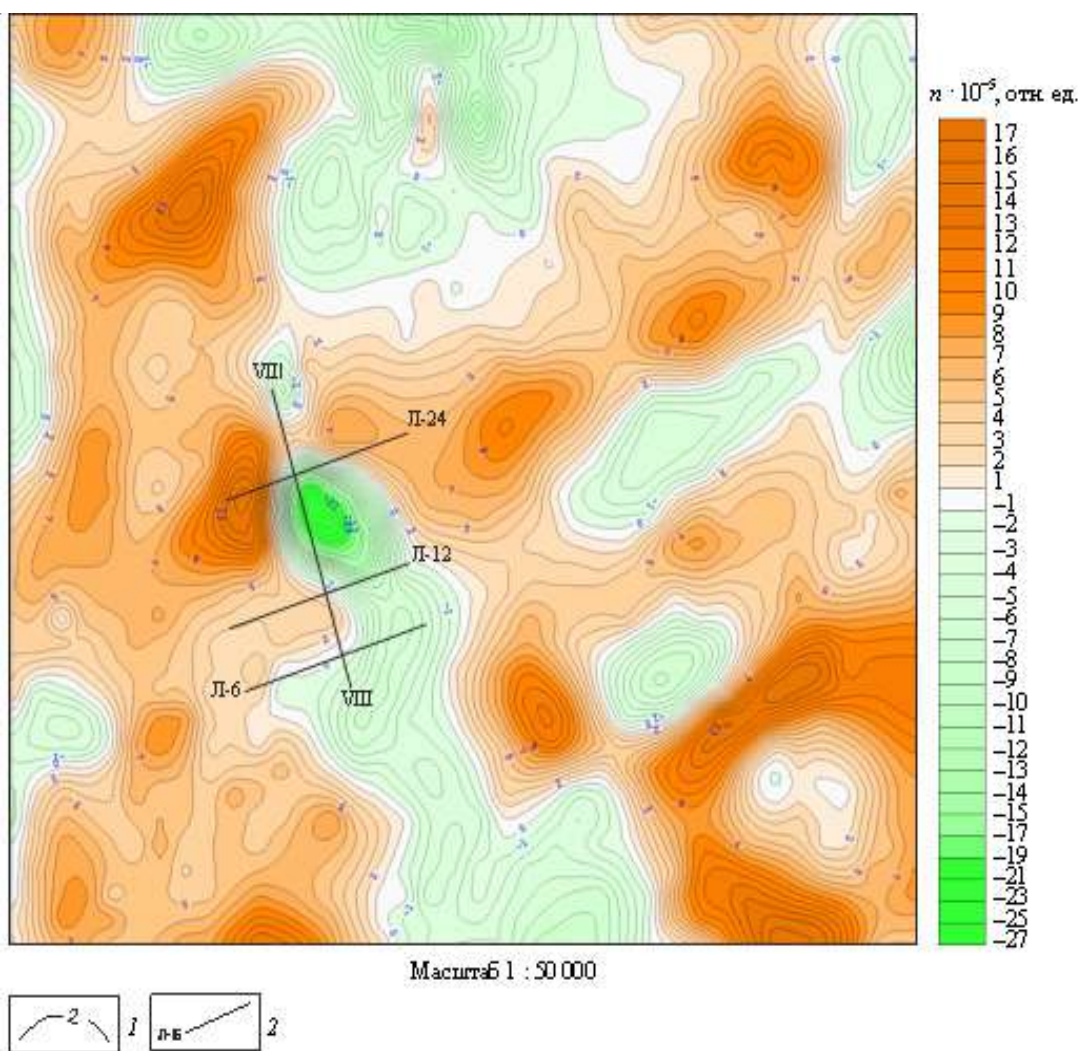


Рис. 4. Схема горизонтальных компонент e_1 и e_2 тензора чистой деформации:
1 – растяжение; 2 – сжатие; 3 – разведочные линии

востока переходит в области положительной дилатации, которые разделяют область отрицательной дилатации на два фрагмента: менее интенсивный северный и более интенсивный южный (рис. 5).

Оба эти фрагмента соответствуют описанным выше фрагментам аномального поля силы тяжести (рис. 1) и, соответственно, двум разным залежам месторождения.

На примере Ново-Шемурского меднокол-

чеданного месторождения тектонофизический анализ поля силы тяжести показывает, что положительная аномалия силы тяжести отражает локальную зону напряженного состояния геологической среды. По мнению авторов, такое состояние возникло сразу же после процесса концентрированного колчеданного рудоотложения в объеме менее плотного силикатного вулканогенного субстрата 460 млн лет назад и существовало до времени эксплуатации месторождения. Наложённые пострудные разноплановые магматические, тектонические, метаморфические и метасоматические процессы разной интенсивности, проявившиеся в течение длительной геологической истории существования огромного тоннажа рудных масс, не оказывали заметного нивелирующего влияния на возмущенное состояние зоны положительной аномалии силы тяжести.

Динамический режим формирования месторождения запечатлен в его строении, пространственном распределении и типах руд, тектонике и других чертах, которые, как и сам режим, можно установить на основании результатов тектонофизического анализа, осуществляемого либо по классической методике, либо путем интерпретации значений аномаль-

ного поля силы тяжести. Оба способа обладают как достоинствами, так и недостатками. При классическом подходе к анализу непосредственно изучаются деформационные элементы месторождения (что возможно при хорошей обнаженности объекта). Методом тектонофизического анализа поля силы тяжести задача решается опосредованно, и плохая обнаженность объекта в этом случае препятствием не служит. Более того, используя при таком анализе результаты гравиметрических съемок различных масштабов, можно изучать деформационную структуру месторождения на разных масштабных уровнях, т. е. изучать иерархию в его строении и структуре. Следовательно, при благоприятных условиях целесообразно сочетать обе методики тектонофизического анализа.

В перспективе метод тектонофизического анализа гравитационного поля следует применить для изучения деформационной структуры рудных месторождений других генетических типов с целью выявления закономерностей размещения залежей полезного ископаемого, сопоставляя при этом полученные результаты с результатами классического тектонофизического анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юрин Ю. Ф. Особенности контрастного вулканизма позднего ордовика-раннего силура на Северном Урале и его колчеданность // Формационный анализ магматитов. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. С. 149-150.
2. Старостин В. И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 736 с.
3. Филатов В. В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Свердловск, 1990. 376 с.
4. Болотнова Л. А., Филатов В. В. Тектонофизический анализ гравитационного поля Екатеринбургского мегаполиса. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 176 с.
5. Филатов В. В., Кузнецов Н. С. Отражение деформаций среды в гравитационном поле (качественный анализ) // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений: межвуз. науч.-теат. сб. Свердловск: СГИ, 1989. С. 25-31.
6. Болотнова Л. А. Методика изучения деформационного состояния геологической среды района Екатеринбурга по гравиметрическим данным: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2007. 109 с.
7. Сомов В. Ф., Кадышева Е. В., Филатов В. В. Тектонофизический анализ гравитационного поля Березовского золоторудного месторождения и прогнозно-поисковые критерии золотого оруденения, связанного с гранито-идными массивами // Литосфера. 2010. № 1. С. 94-102.
8. Кадышева Е. В., Филатов В. В. Дилатация как предпосылка применения гравиметрии для изучения деформации геологической среды // Изв. вузов. Горный журнал. 2010. № 4. С. 122-126.
9. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
10. Старостин В. И. Структурно-петрографический анализ эндогенных рудных полей. М.: Недра, 1979. 240 с.

оступила в редакцию 13 июня 2012 г.

Кадышева Елена Владиславовна – ассистент кафедры геофизики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: kadyshhev@k66.ru

Филатов Владимир Викторович – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Юрин Юрий Федорович – геолог I категории УКСЭ УПГО «Уралгеология». 620144, г. Екатеринбург, ул. Вайнера, 55.