

ДИСКУССИИ

УДК 550.83.016 (571.51)

© С.М.Макеев, 2014

СКОПЛЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА В ДУГООБРАЗНЫХ СТРУКТУРАХ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

С.М.Макеев (ИГДГиГ СФУ, г. Красноярск)

Анализ плотности пространственного распределения показал, что 5824 локальные положительные аномалии гравитационного поля Енисейского кряжа образуют закономерную систему протяженных дугообразных зон, «ветвящихся» вокруг стволовой части Ишимбинского глубинного разлома. В нескольких областях кряжа, названных рудно-структурными узлами, субколлинеарная структура таких зон нарушается и они преобразуются в субрадиальные «площадные штокверки», к которым пространственно тяготеют скопления золоторудных объектов. Общефизический принцип Ле Шателье и данные по геологии региона позволяют обосновать предположение о сейсмостектонической природе выявленных дугообразных зон и указать на важную эволюционную роль теплопроводности при адаптации горных пород к процессу взаимодействия Исаковского террейна и Сибирской платформы.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, Енисейский кряж, гравитационное поле, дугообразные структуры, теплопроводность, принцип Ле Шателье, сейсмические волны, надви́ги.

Макеев Станислав Михайлович, smmakeev@mail.ru

THE AGGREGATIONS YENISEI RIDGE GOLD OBJECTS IN THE ARC-SHAPED STRUCTURES OF GRAVITY FIELD

S.M.Makeev

Analysis of the spatial density distribution showed that 5824 local positive anomalies of the gravitational field of the Yenisei Ridge form a regular system of extended arc-shaped zones, «branching» around the stem portion Ishimbinsky deep fault. In several areas of the ridge, called ore-structural nodes, sub-collinear structure of these zones is violated, and they are converted to «areal Stockworks» with sub-radial structure, to which aggregations of gold objects tends. Le Chatelier's principle of general physics and data on the geology of the region allowed the author to justify the assumption about seismotectonic nature of the identified arc-shaped zones and point to the important evolutionary role of the thermal conductivity in adapting of rocks to the process of interaction Isakovsky terrane and the Siberian platform.

Key words: gold deposits, the Yenisei Ridge, the gravitational field, the arc-shaped structure, thermal conductivity, Le Chatelier's principle, seismic waves, thrusts.

Ранее автор пришел к выводу, что в структуре аномального гравитационного поля Енисейского кряжа (Красноярский край) размещение 562 объектов коренной золоторудной минерализации носит не случайный характер [3]. Золоторудные объекты пространственно тяготеют к осям локальных положительных аномалий гравитационного поля. Локальные аномалии выделялись при помощи специально разработанного метода частотно-азимутального анализа, выполненного по сетке данных 1×1 км с карты гравитационного поля м-ба 1:200 000. Базовым элементом анализа в этом методе является азимутально-ориентированный отрезок — одномерный аналог двумерных элементов (кругов, эллипсов, пикселей), используемых в других методах частотного анализа. Локальные аномалии гравитационного поля были выделены в диапазоне длин азимутально-ориенти-

рованных отрезков 2–4 км. В результате установлено, что 75% всех объектов находятся не далее 1,3 км от оси ближайшей к ним аномалии. С учетом этих данных была поставлена задача дальнейшей генерализации пространственной структуры осевых линий локальных положительных аномалий (ЛПА) гравитационного поля и изучения пространственного распределения в этой структуре не только отдельных золоторудных объектов, но и их скоплений.

В качестве объектов исследования изучены 5824 отдельные ЛПА. Ось каждой аномалии заменялась цепочкой точек с шагом ~40 м. Затем методом «скользящего окна» радиусом 25 км рассчитывалось «поле ЛПА» — значения пространственной плотности распределения этих точек как среднее количество на 1 км^2 . Далее с помощью упомянутого метода частотно-азимутального анализа, алго-

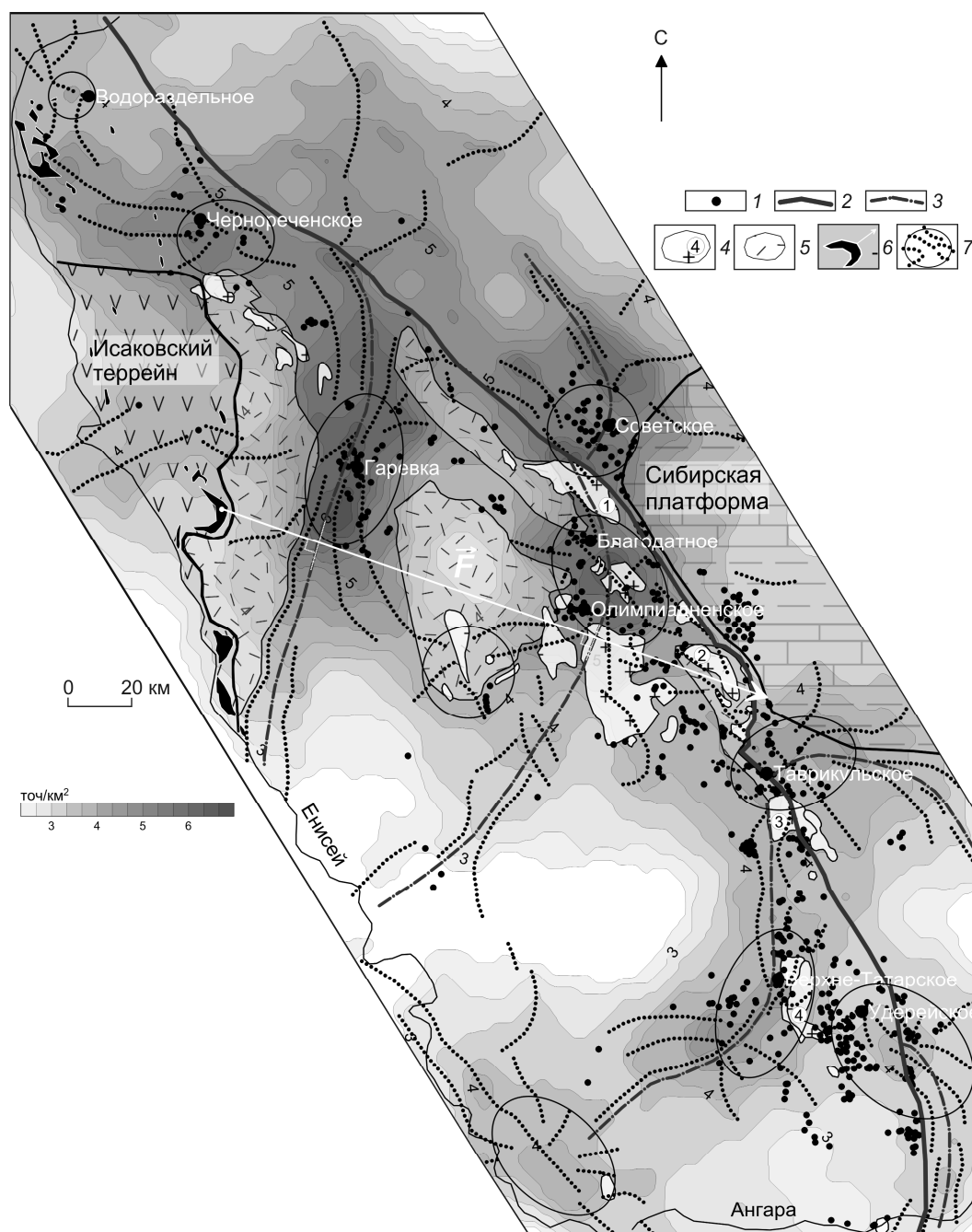


Рис. 1. Дугообразные зоны Енисейского кряжа на фоне остаточного «поля ЛПА»:

1 — месторождения и рудопроявления золота; 2 — Ишимбинский глубинный разлом; 3 — оси дугообразных зон аномалий региональной составляющей поля ЛПА; 4 — массивы коллизионных гранитов татарско-аяхтинского и гурагинского комплексов, R_3 (1 — Каламинский, 2 — Ерудинский, 3 — Аяхтинский, 4 — Татарский); 5 — гранитогнейсы гаревского комплекса, AR; 6 — гипербазиты сурнихинского комплекса, R_{1-2} и направление взаимодействия Исаковского террейна и выступа Сибирской платформы; 7 — осевые линии положительных аномалий региональной составляющей «поля ЛПА» и области развития «площадных штокверков ЛПА»

ритм которого изложен в работе [3], уже само «поле ЛПА» разделялось на три составляющие: локальную — в диапазоне длин азимутально-ориентированных отрезков 2–12 км, региональную — в диа-

пазоне длин 12–20 км и остаточное поле — в диапазоне длин >20 км. Остаточное поле, представленное самыми низкочастотными составляющими «поля ЛПА», вынесено на результирующую карту

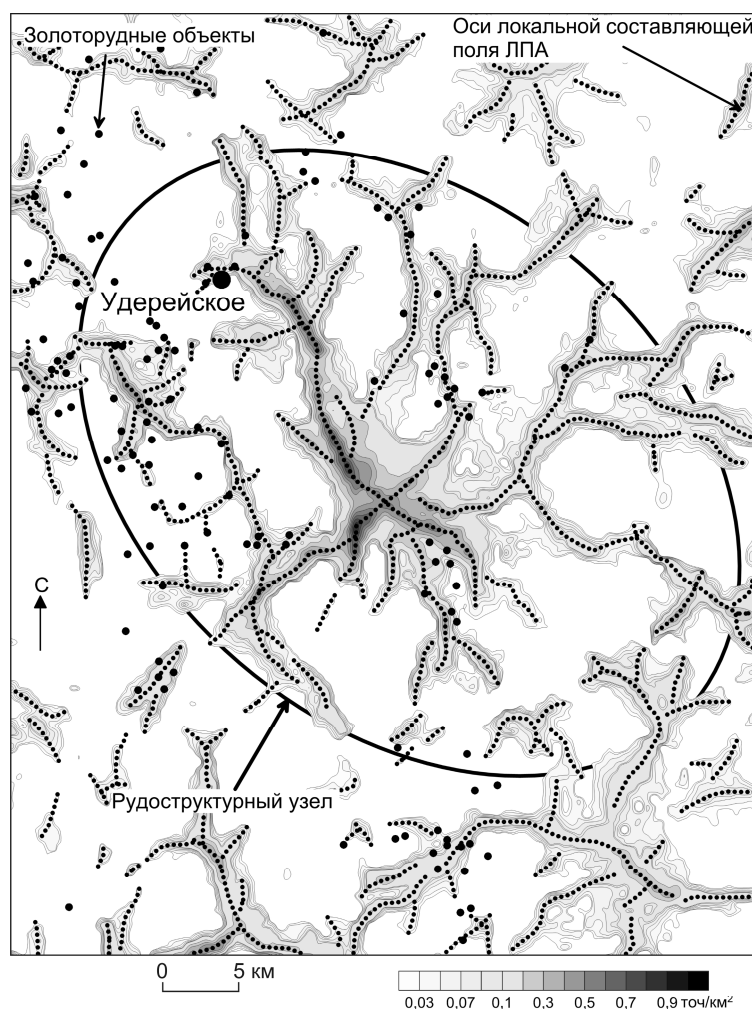


Рис. 2. Структура локальной составляющей поля ЛПА

без какого-либо сокращения информации. Оно отражает наиболее генерализованную структуру поля. Региональная составляющая вынесена на ту же карту сокращенно, в виде осевых линий положительных аномалий (далее — аномалии региональной составляющей поля ЛПА), трассирующих зоны относительного сгущения ЛПА. Карта, сформированная из этих двух составляющих «поля ЛПА», на взгляд автора, наиболее обобщенно отражает пространственное распределение локальных положительных аномалий гравитационного поля в заангарской части Енисейского кряжа (рис. 1). Для дальнейшей интерпретации и обсуждения карта дополнена некоторыми элементами геологического строения, взятыми из современной базы геоданных [4].

Локальная составляющая «поля ЛПА» иллюстрирует наиболее тонкую структуру этого поля. В качестве примера на рис. 2 представлен небольшой фрагмент карты положительных аномалий пространственной плотности ЛПА с выделенными осе-

выми линиями.

Анализ полученных карт на рис. 1 и 2 привел к следующим результатам.

Оси отдельных субколлинеарных аномалий региональной составляющей «поля ЛПА» образуют на площади Енисейского кряжа систему протяженных, длиной от 70 до 170 км, азимутально-ориентированных дугообразных зон. В некоторых областях кряжа субколлинеарная структура таких зон нарушается, преобразуясь в субрадиальную, а зоны приобретают черты «площадных штокверков ЛПА», что иллюстрирует рис. 3.

Выявленные субколлинеарные дугообразные зоны ЛПА (для наглядности аппроксимированные на рис. 1 отдельными линиями) образуют «структуры ветвления» вдоль стволовой линии Ишимбинского глубинного разлома, причем большая часть «ветвей» распространяется в юго-западный сектор направлений от стволовой линии разлома, меньшая — в северо-восточный.

Области развития субрадиальных структур «площадных штокверков ЛПА» совпадают с областями относительного скопления золоторудных объектов. При этом можно локализовать до семи изолированных друг от друга рудно-структурных узлов, представляющих эпицентры «площадных штокверков ЛПА» с повышенной концентрацией золоторудных объектов.

Внутреннее строение рудно-структурных узлов определяется тонкой структурой «поля ЛПА», выраженной ветвящейся сетью аномалий локальной составляющей поля ЛПА и пространственно тяготеющими к ним золоторудными объектами (см. рис. 2).

Исходя из полученных результатов, зададимся тремя первоочередными вопросами: какова возможная природа дугообразных зон ЛПА, как связаны между собой скопления золоторудных объектов и «площадные штокверки ЛПА», какова роль Ишимбинского глубинного разлома в единой системе дугообразных зон ЛПА?

Большая протяженность отдельных дугообразных зон ЛПА, превышающая 200 км по сумме длин своих юго-западных и северо-восточных ветвей (например зона, проходящая через Советский и Олимпиадинский рудно-структурные узлы, см. рис. 1), позволяет предположить, что причина их обра-

зования имеет региональную природу. В настоящее время активно разрабатывается генетическая модель коренной золотоносности Енисейского кряжа, энергетическим источником которой был процесс столкновения Исаковского террейна с Сибирской платформой в рифейский коллизионный этап (720–750 млн. лет назад) эволюции кряжа [2]. В стремлении определить место полученных результатов в рамках этой региональной модели нами на рис. 1 вынесены несколько типов объектов, геологическую историю которых обычно связывают с коллизионным этапом:

линия Ишимбинского глубинного разлома — наиболее протяженного линеймента Енисейского кряжа северо-западного простирания, картируемого в ранге регионального надвига;

отдельные пластины и скопления малых тел ранне-среднерифейских гипербазитов сурнихинского комплекса — характерных пород в северо-западной части кряжа, представляющих собой офиолитовую ассоциацию срединно-океанических хребтов и являющихся наиболее древними породами Исаковского террейна [2];

позднерифейские коллизионные гранитные массивы татарско-аяхтинского и гурахтинского комплексов, с которыми обычно связывают золотое оруденение кряжа;

области площадных выходов наиболее древних пород кряжа — архейских плагиогнейсов и гнейсов гаревского метаморфического комплекса с характерными процессами разновозрастного полиметаморфизма.

Кроме фактических объектов геологической карты, нами с учетом геометрии дугообразных зон ЛПА и границ областей, занятых гранитоидами, на рис. 1 проведены гипотетические границы Исаковского террейна и Сибирской платформы. Также показана линия вектора F , выходящего из точки наиболее характерного выступа Исаковского террейна в направлении, перпендикулярном осям двух наиболее протяженных дугообразных зон ЛПА.

Приведем два аргумента, на наш взгляд, доказывающих, что проведенный единственно возможным способом вектор F указывает одно из наиболее вероятных направлений воздействия Исаковского террейна на Сибирскую платформу. Первый аргумент связан с тем, что вдоль линии вектора F констатируется максимальная пространственная плотность развития гранитизированных пород (гнейсов и гранитов). Если этот факт считать не случайным и интерпретировать с позиции принципа Ле Шателье («если на систему, находящуюся в равновесии, оказать какое-либо воздействие, то в результате протекающих в ней процессов равнове-

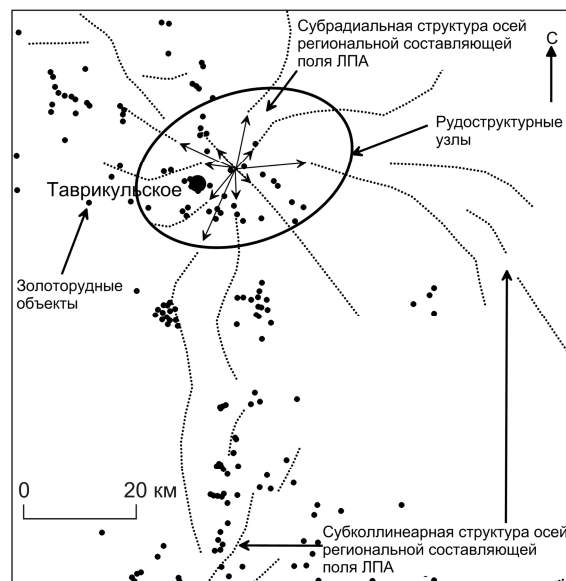


Рис. 3. Морфологические особенности строения дугообразных зон

сие сместится в таком направлении, что оказанное воздействие уменьшится» [1]), то получится, что гранитизация — один из конвергентных (*фундаментальных*, по мнению Э.Рагена [5]) процессов приспособления (адаптации, самоорганизации) горных пород к внешнему тектоническому воздействию F . Но что является внутренней движущей причиной процесса гранитизации?

Ответ на этот вопрос можно обсудить с помощью рис. 4, на который вынесены значения теплопроводности отдельных минералов и горных пород, характеризующих наиболее общие процессы преобразования пород в земной коре под действием внешних сил и привноса тепла: диагенез осадков, различные типы метаморфизма, коровый магматизм. Если допустить, что в пределах отдельно взятого процесса преобразование пород и минералов протекает слева направо (от начального к конечному состоянию), то следует признать, что все рассмотренные типы преобразований пород протекают в направлении увеличения теплопроводности конечных продуктов этих преобразований. Отметим, что из всех породообразующих минералов кварц обладает аномально высокой теплопроводностью, имеющей существенную пространственную анизотропию. Следовательно, окварцевание как процесс задает один из наиболее вероятных «векторов эволюции» внутрикоровых преобразований горных пород при динамическом и тепловом воздействии на них. Окварцованная порода становится более «прозрачной» для внешнего потока энергии, смещая термо-

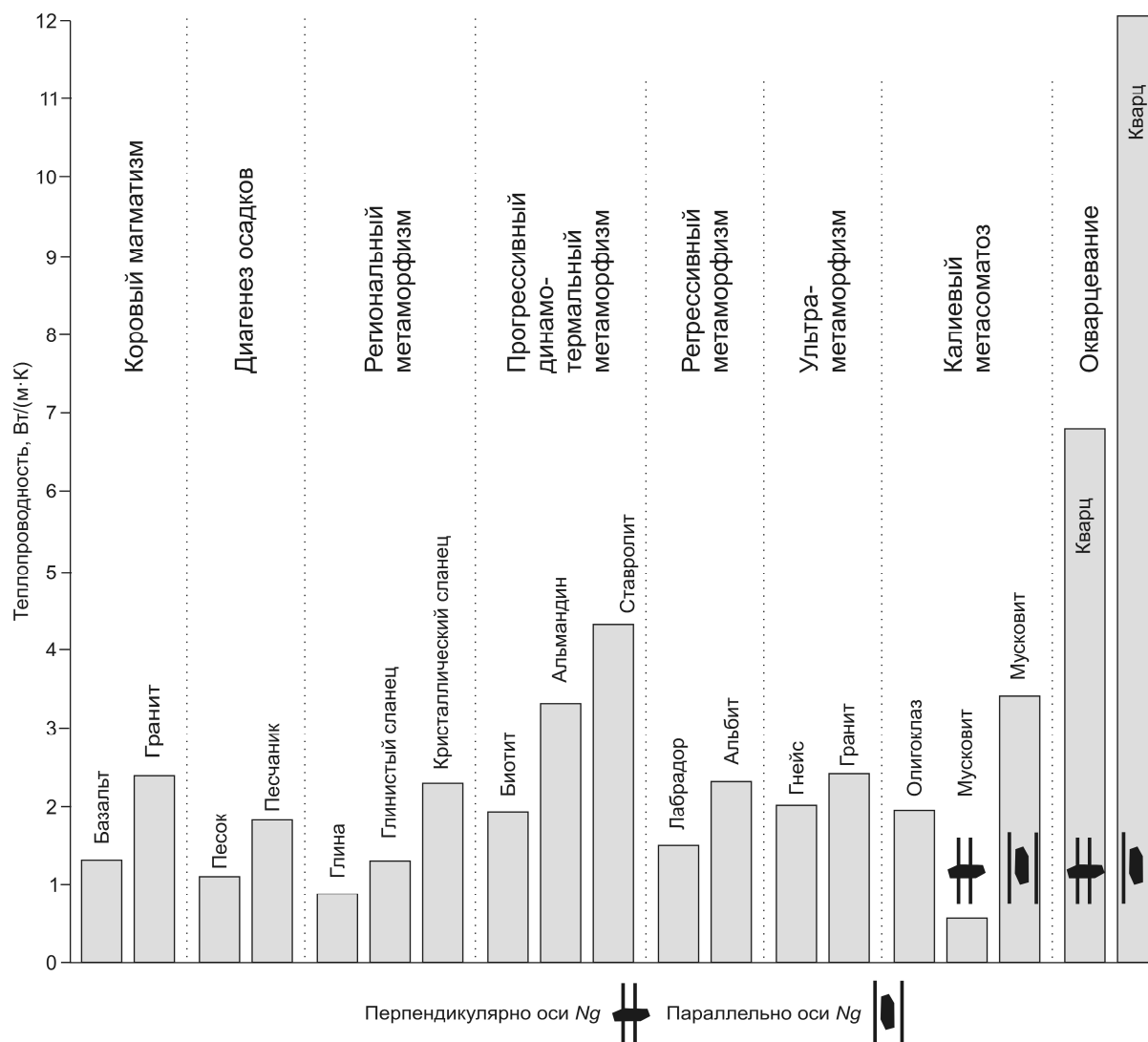


Рис. 4. Изменение теплопроводности в различных процессах преобразования горных пород, по данным [6, 7]

динамическое равновесие в сторону тех геологически возможных структурно-вещественных состояний пород, при которых воздействие внешнего потока минимизируется. Таким образом, в соответствии с принципом Ле Шателье вдоль линии приложения долговременного тектонического воздействия Исаковского террейна на Сибирскую платформу следует ожидать максимального проявления процессов эволюции горных пород в направлении их окварцевания, практически реализуемого в форме гранитизации. Что и наблюдается фактически.

Второй аргумент опирается на анализ общей морфологии гравитационного поля. Если предположить, что Исаковский террейн двигался в сторону Сибирской платформы и область Енисейского кряжа транслировала это движение, то по линии

максимального взаимодействия возможно изменение морфологии гравитационного поля. Действительно, вдоль линии F можно выделить две высокоградиентные области поля в форме характерных «гравитационных выступов» А и Б (рис. 5). Если конфигурация выступа А, иллюстрирующего надвигание более плотного (жесткого) блока на менее плотный, кажется логичной, то конфигурация выступа Б кажется странной, поскольку менее плотный блок вклинивается в более плотный. Объяснить это можно, если предположить, что изначально с двух сторон высокоградиентной границы Б находились породы примерно одинаковой плотности. Но под действием силы F породы с западной стороны от этой границы подверглись гранитизации, в результате чего произошло их значительное

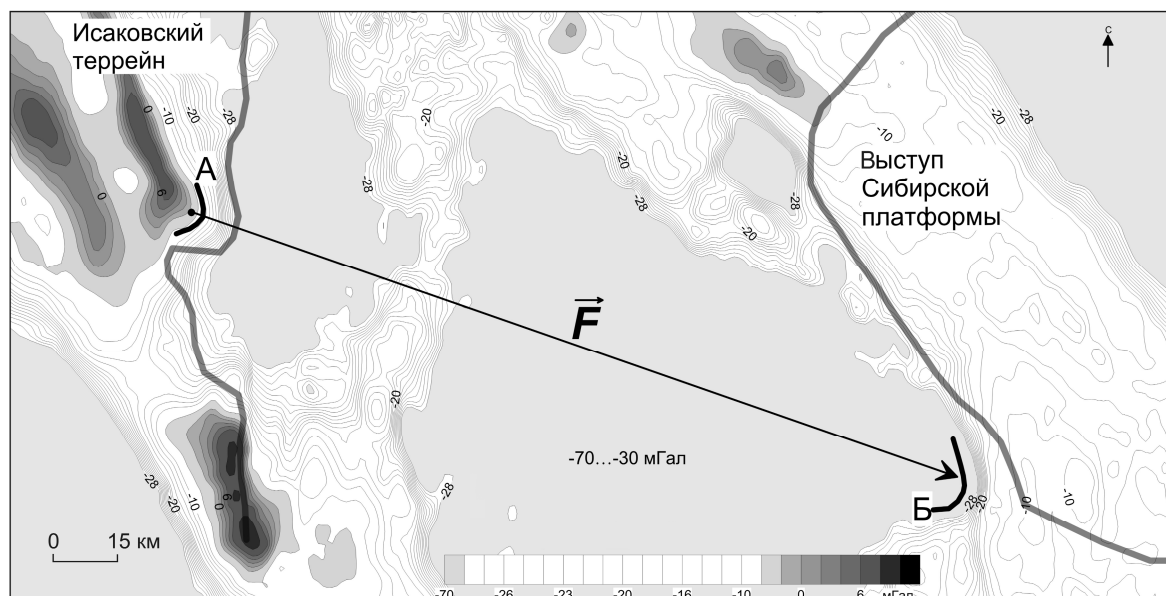


Рис. 5. Особенности морфологии гравитационного поля Енисейского кряжа вдоль вектора взаимодействия Исаковского террейна и Сибирской платформы

разуплотнение и, как следствие, изменение знака градиента гравитационного поля при сохранении характерной конфигурации изолиний.

Таким образом, если принять, что направление вектора F совпадает с направлением максимального силового воздействия Исаковского террейна на Сибирскую платформу, то природу дугообразных зон ЛПА (по крайней мере, рассмотренных двух наиболее протяженных) можно связывать с сеймотектоническим уплотнением горных пород в результате коллизии двух жестких блоков литосферы.

Второй из поставленных выше вопросов касается взаимосвязи золотого оруденения с объектами, названными «площадными штокверками ЛПА». Первое, что можно отметить при анализе положения данных объектов — их весьма заметная пространственная корреляция со скоплениями коренных проявлений золота, а также с гранитоидными массивами коллизионного генезиса: Каламинским, Аяхтинским, Ерудинским, Татарским и другими более мелкими. При этом гранитные массивы находятся либо в пределах «площадных штокверков ЛПА», либо на их границе. Что может связывать области повышения плотности горных пород (ЛПА), гранитоидные массивы и золоторудные объекты? Возможно, объединяющим является тот факт, что и уплотнение горных пород, и их гранитизация, и формирование многокомпонентных зон золото-сульфидно-кварцевого оруденения (при самых разных соотношениях их компонентов) —

универсальные, конвергентные геологические процессы, которые приводят как порознь, так и вместе к увеличению теплопроводности объемов горного пространства, испытавших сильное динамотермальное воздействие. При этом уплотнение является лишь первым, физически самым простым, эволюционным процессом в направлении увеличения «тепловой прозрачности» горных пород. По мере достижения предела теплопроводности (например, при уплотнении песка в песчаник теплопроводность увеличивается менее чем в 2 раза) включаются более эффективные механизмы теплообмена — более активное перераспределение вещества горных пород как на месте (метаморфиты), так и с его ограниченным (метасоматиты) или «неограниченным» (гидротермалиты) переносом. В этом эволюционном процессе адаптации объемов горного пространства к потокам внешней тектонической энергии кварцевые жилы, по-видимому, самые эффективные «теплопроводящие элементы». Это можно подтвердить не только аномально высокой (в 4–6 раз) по сравнению с другими породообразующими минералами теплопроводностью кварца (8–13 Вт/(м·К)), но также пирита (38,9), сфалерита (26,7) и любых других сульфидов, обычно присутствующих в кварцевых жилах.

Таким образом, зоны локализации положительных аномалий гравитационного поля могут быть не только эмпирически связаны с золоторудными объектами (как показано нами в работе [3]), но иметь

с такими объектами и парагенетическую связь, в основе которой лежит представление о направленной эволюции теплопроводности горных пород под действием внешних тектонических сил.

Переходя к третьему вопросу о роли Ишимбинского глубинного разлома, заметим, что он отображается на современной геологической карте в ранге регионального надвига. То есть крупного линейного объекта, вдоль которого на протяжении длительного геологического времени выделялось значительное количество энергии как в форме механического движения одних пород относительно других, так и, главное, в форме сейсмических волн, возникающих при многочисленных механических подвижках и разрывах и способных распространяться на значительные расстояния. Известно, что эффективность передачи сейсмической энергии прямо зависит от плотности среды. Поэтому дугообразные зоны ЛПА могут играть ведущую роль в качестве эффективных каналов распространения сейсмической энергии, выделявшейся вдоль стволовой зоны Ишимбинского разлома на протяжении всего времени его геологической активности.

Итак, древовидная форма Ишимбинского разлома (с ветвящимися вокруг дугообразными зонами ЛПА) может представлять собой фактическую схему пространственного распределения каналов переноса тектонической энергии, выделенной в процессе коллизионного взаимодействия Исаковского террейна и Сибирской платформы и распределенной вдоль зон уплотнения сейсмическими волнами на всей территории Енисейского кряжа по «разветвленной» системе этого разлома.

При такой интерпретации результатов пространственного анализа гравитационного поля становится возможным объяснение некоторых фактов, не вполне логично вписывающихся, по мнению автора, в современное представление о роли надвигов. К ним фактам можно отнести максимальную удаленность от Исаковского террейна (как первоисточника тектонических движений) Татарского массива — одного из самых крупных гранитных массивов коллизионного генезиса, вокруг которого сконцентрировано до 20% всех золоторудных объектов кряжа. Или очень широкий для «точечного источника энергии» ареал распространения золоторудных

объектов по обширной территории кряжа, или частое преобладание признаков блоковой тектоники по сравнению с признаками надвиговой в пределах отдельных золоторудных участков.

Возникающих вопросов, конечно, больше, чем получаемых ответов, а точность последних, пользуясь аналитической терминологией, находится в области «качественного анализа». Однако то обстоятельство, что гравитационное поле (отражающее изменения самого фундаментального физического свойства горных пород) постепенно обретает корреляции с главными структурными, геологическими и рудными объектами, позволяет надеяться на скорое получение и более «количественных результатов», необходимых для создания объективной геофизической основы прогнозирования золоторудных месторождений на Енисейском кряже.

В заключение автор выражает благодарность профессору Сибирского Федерального Университета А.М.Сазонову за помощь в осмыслении рис. 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов. 29-е изд., исправленное / Под ред. А.И.Ермакова. — М.: Интеграл-Пресс, 2001.
2. Исаковский террейн и его обрамление / А.А.Стороженко, Н.Ф.Васильев., С.Д.Сидорас и др. // Мат-лы научно-практической конференции «Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири». Красноярск, 2010. С. 211–222.
3. Макеев С.М. Пространственная корреляция гравитационного поля и золоторудных объектов Енисейского кряжа // Руды и металлы. № 3. 2014. С. 17–26.
4. Опыт применения технологии компьютерного прогнозирования золоторудных объектов в заангарской части Енисейского кряжа / В.А.Макаров, С.М.Макеев, В.В.Межубовский и др. // Руды и металлы. 2012. № 3. С. 50–58.
5. Раген Э. Геология гранита. — М.: Недра, 1979.
6. Физические величины: Справочник / А.П.Бабичев, Н.А.Бабушкина, А.М.Братковский и др. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Н.Б.Дортман. — М.: Недра, 1984.