

М. Н. Афанасов

ФЛЮИДО-КАТАКЛАСТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ И ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Под флюидо-катакlastическими зонами (ФКЗ), по нашему мнению, понимаются протяженные (порядка 100 км) широкие (около 10 км) линейные долгоживущие структуры нарушения сплошности гранито-гнейсового фундамента платформ, сложенные бластотектонитами, находящимися в амфиболитовой-эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма, неоднократно диафорированных, окварцованных, микроклинизированных, часто графитизированных. Обычно во ФКЗ сохраняются будинированные, тектонизированные и амфиболитизированные породы основного-ультраосновного состава. Предполагается, что такие ФКЗ унаследовали ослабленные зоны архейской земной коры, которые контролировали в конце архея – начале протерозоя внедрение ультраосновных щелочных пород, карбонатитов и габброидов [1, с. 152–153]. Видимо, к этой категории относятся также линейные структуры зеленокаменных поясов раннего докембрия Восточной Сибири, Великой дайки и Бушвельдского массива и структура Витватерсранд Южной Африки [2–4].

На фоне плотных вмещающих гнейсов фундамента породы ФКЗ отличаются флюидонасыщенностью, как имеющей в каждый этап тектоно-магматической активизации (ТМА) связь с глубинной областью дегазации Земли [5]. К их характеристике вполне применимы представления Г. Л. Поспелова [6] о флюидо-каркасной динамической системе, а также Ф. А. Летникова (см. [1]) о флюидном режиме тектонитов, который отмечает, что чем шире развиты флюидные пути в каркасной системе, тем больше способность системы в целом к транспортировке вещества и энергии. Это подтверждается многолетними исследованиями по территории России (Алданский щит, Приамурье, Приладожье, Северное Приуралье) и Канады [7–9] и составляет основное свойство ФКЗ как проводников энергии и вещества глубинного происхождения к основанию осадочного чехла платформ.

На сравнительно стабильных литосферных блоках (части платформ, срединные массивы) наблюдались в широких ареалах процессы мантийного магматизма, метаморфизма и рудообразования [1]. Как правило, они тяготеют к линейным структурам с широко и длительно проявляемыми процессами тепло- и массопереноса. В общем виде это флюидопроводящие структуры, т. е., по нашему мнению, ФКЗ. По Ф. А. Летникову (см. [1]), флюид способен более эффективно переносить металлы мантийного происхождения, чем магмы. Флюидизированная масса тектонита обладает свойством повышенной текучести, часто образуя независимые от магматизма криптовулканические (туффизитовые) проявления различных полезных ископаемых [10]. Глубина проникновения ФКЗ на зрелых мощных литосферных блоках, каковым является раннепротерозойский или архейский гнейсовый фундамент платформ и срединных массивов, достигает астеносферного слоя, откуда поднимается флюид в результате дегазации мантии [1, 5]. Свидетелями мантийного источника флюида могут служить повышенное содержание легкого изотопа гелия (^3He) [11] и данные сейсморазведки или других геофизических методов.

Указанное выше теоретическое положение было давно реализовано при прогнозно-поисковых исследованиях на алмазы, цель которых – обнаружение в краевых частях, захороненных под осадочным чехлом, рифейских троговых структур (авлакогенов), ограниченных ФКЗ, часто контролирующими цепочки кимберлитовых трубок в пределах алмазоносных провинций и районов (ареалов ТМА древних платформ). В этом же направлении проводились поиски урановых месторождений типа несогласий [12, 13]. Полученный при этом богатый опыт советских геологов из-за секретности работ долгое время в широкой геологической практике оставался неизвестным.

Глубинное вещество, прежде всего газы (CO_2 , CH_4 , CO , H_2) и щелочи (K и др.), которые увлекают за собой многие рудные элементы (Ni, Co, Cu, V, U, Au, Hg, Pt и др.), предопределяет процессы гранито- и рудообразования в верхних частях литосферы, тяготеющих к простиранью ФКЗ на глубине. Прохождение углеродосодержащих газов через систему ФКЗ вызывает образование в ней графита, который создает электронную проводимость зоны в целом. Ионная электропроводность ФКЗ обусловлена флюидонасыщенностью пород. Это резко выделяет структуры ФКЗ от вмещающих их слабоэлектропроводных относительно сухих пород кристаллического фундамента. Естественно, что в сочетании с экранирующей ролью осадочных пород чехла ФКЗ обуславливают появление месторождений вблизи структурно-стратиграфических несогласий (ССН), где образуется энергонасыщенный объем горных пород [14], который может фиксироваться разными геофизическими методами [15].

По выраженности в современной геологической структуре ФКЗ можно разделить на структуры сжатия и расширения. Для первых типичны плотное сложение, амагматичность на период сжатия, они часто выражены геоморфологически в виде вываленных кверху сейсмоактивных хребтовых зон (например, хр. Тукуруингра). Вторые фиксируются впадинами, часто озерными котловинами, также сейсмоактивными, с соответствующим выполнением (структуры южного склона Балтийского щита). Для тех и других свойственны неотектонические подвижки разного знака. В течение всей геологической истории их существования режимы сжатия-расширения чередовались. Соответственно ландшафтно-тектонические палеохарактеристики менялись и последовательно запечатлевались в геологических структурах, унаследовавших ФКЗ древнего заложения.

Как правило, ФКЗ характеризуют фундамент троговых структур конца карелия – начала рифея. Это было время великого перелома в геологической истории, что отмечал еще Г. Штилле [16]. Заложенные в данный период линейные структуры находят отражение в геологии всего фанерозоя.

Как показывает опыт поисково-разведочных работ на уран в России [13], рудоносные ФКЗ имеют протяженность порядка 100 км при ширине около 10 км (зоны Эльконского района Алданского шита, Онежского района Карелии, региональная Тукурингская зона Станового нагорья Северного Приамурья). Часто ФКЗ представляют полиметаллические (U, Au, V, Pt) и углеродные (алмаз, шунгит, графит) рудные районы.

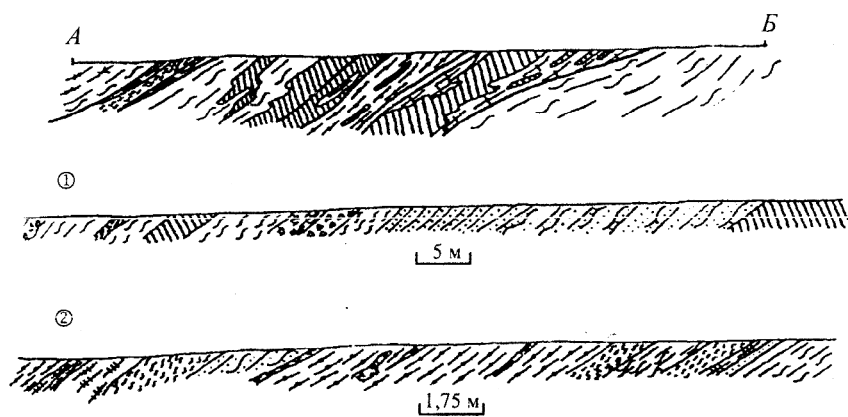
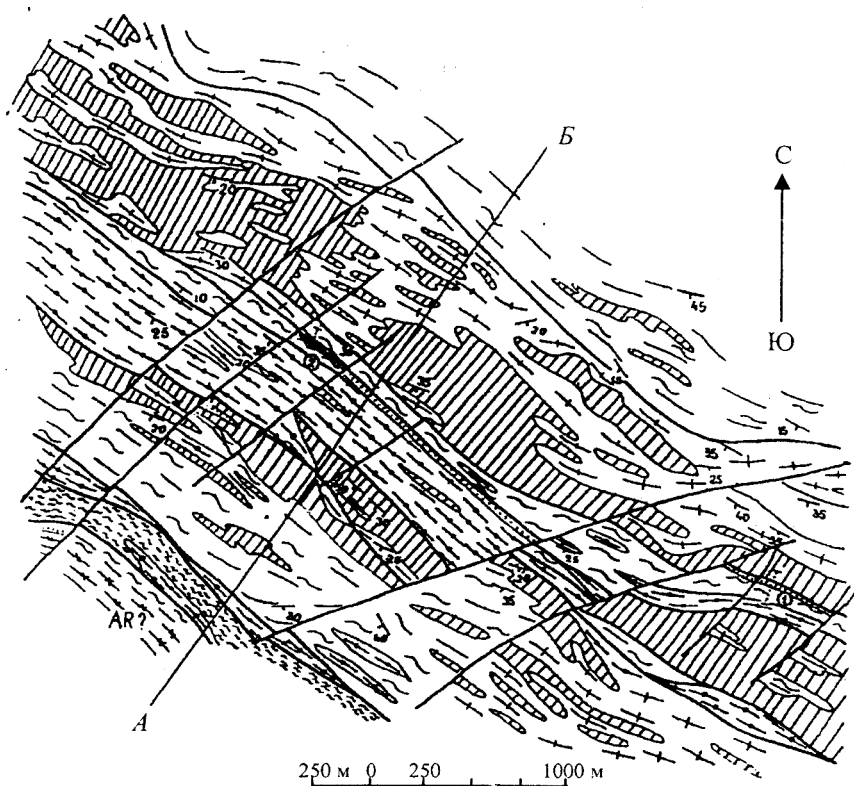
Типовые черты ФКЗ удобно рассмотреть на примере хорошо обнаженной Тукурингской зоны Станового нагорья в Северном Приамурье. Она совпадает с одноименным хребтом, незначительно (первая сотня метров) возвышающимся над средним гипсометрическим уровнем Станового нагорья, протягивается по азимуту 290–295° на 450–500 км, с юго-востока причленяясь к зоне Монголо–Охотского глубинного разлома континентального масштаба, а с северо-запада, видимо, срезана субширотным разломом системы Байкало–Станового разлома и плохо изучена. Геоморфологически хр. Тукуринга обладает ступенчатым поперечным профилем и плоской узкой вершиной, прослеженной на десятки километров. По сейсмологическим и магниторазведочным данным зона в целом имеет крутое северо-восточное падение и прямолинейное простирание. Вытянутые в северо-западном направлении поднятые тектонические блоки осевой части хребта разбиты субгоризонтальными нарушениями, возникшими вследствие релаксации сжимающих напряжений, действующих на блок до его поднятия. Эти пологие нарушения, как показали детальные исследования, прослеживаются на несколько километров и контролируют урановые (давидовые) линзы в линзовидно-очковых кварц-микроклиновых метасоматитах (Улигирский участок в бассейне Джуваскига). Изучение Улигирского участка с применением геофизических методов и горных работ выявило подобие [17] разномасштабных структур, начиная с размера шлифа и до структуры зоны в целом (рисунок). Для изученной ФКЗ характерно строение, сочетающее элементы расщепления (текучести), порфиробластеза (глиноземистые минералы и амфиболы) гнейсовидных и массивных тел кварц-микроклиновых или чисто кварцевых метасоматитов, перемежающихся с линзами существенно мусковитовых сланцев или биотитовых и порфиробластических амфиболитов.

В структуре Тукурингской зоны выделяются следующие породные комплексы: 1) линзовидные блоки субстрата гнейсов и реликтовые, наиболее древние, представленные расщепленными, развальцованными диафторированными габброидами и ультрабазитами; 2) тектониты (диафториты) и метасоматиты собственно ФКЗ; 3) более молодые осадочные и вулканогенно-осадочные; 4) наложенные более молодые граниты.

Реликтовые комплексы ультрабазитов и базитов образуют небольшие линзовидные тела, иногда достигающие размера 2×0,3 км (район бывшего золотого прииска Успеновский). Они залегают в линзовидных блоках сильно диафторированных биотит-гранатовых гнейсов раннего архея, представлены серпентинизированными и тремолитизированными пироксен-оливинсодержащими разностями. Краевая часть интрузии (протрузии ?) сильно ослаблена и сложена хлорит-тремолитовыми породами. Небольшие линзы хлорит-тремолитовых сланцев прослеживаются на запад от прииска Успеновский вдоль Тукурингской зоны. Архейский возраст гипербазитов принят условно. Возможно, он более юный. На Балтийском шите архей-раннепротерозойский возраст основных магматитов ФКЗ доказан более корректно [3]. Химические составы описанных тел основных пород Тукурингской зоны соответствуют составам амфиболитов из окружающих гнейсов позднего архея. Тело гипербазитов в районе прииска привлекает к себе внимание еще и тем, что в нем пройдены были все золотодобывающие небольшие горные выработки шахтного типа. Документация не сохранилась. Видимо, добывали золотосодержащий жильный кварц, обломки которого встречены в выбросах из шахт, представляющих разложившуюся рыхлую зеленую массу. Руду обогащали с помощью бегункового механизма, большая чугунная чаша которого осталась на развалинах прииска.

Собственно флюидо-катакlastический комплекс, определяющий название зоны, неразрывно связан с кремниво-кальцевыми метасоматитами (рисунок), образуя один структурный ансамбль. В этом ансамбле просматривается разномасштабная линзовидная текстура расщепления-течения, обусловленная дифференциальными подвижками флюидизированного вещества и электрическими явлениями, их сопровождающими (см. ниже). Породы, слагающие комплекс, – полихронные тектонические сланцы-диафториты эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма. В некоторых разности видна реконструируется состав дифференциально расщепленных амфибол-биотитовых и глиноземистых гнейсов. Они представлены слюдястыми, узловатыми ставролит-слюдястыми диафторитами. Более тонкозернистые разности тектонитов – это черные шелковистые филониты со ставролитовыми и гранатовыми порфиробластами; они часто графитизированы. Флюидо-катакlastический комплекс иногда насыщен вытянутыми линзами пойкилопорфиробластических амфиболитов, видимо, являющихся сильно измененными, перекристаллизованными габброидами или гипербазитами.

Заканчивают основной этап формирования флюидо-катакlastической Тукурингской зоны кварц-микроклиновые линзовидно-очковые метасоматиты и тесно с ними связанные кварц-микроклиновые пегматиты. Мощность сплошных линзовидных масс кварц-микроклиновых метасоматитов иногда достигает сотен метров. Среди них встречаются чисто кварцевые обособления и кварцевые жилы с крупными, до 10 см, кристаллами дистена. Главная масса кварц-микроклиновых метасоматитов образуется в раннюю стадию метасоматоза и накладывается на диафториты эпидот-амфиболитовой фации, с которыми она тесно пространственно связана. Значительно реже встречаются кварц-альбитовые метасоматиты в филонитах и кварц-олигоклазовые метасоматиты, представляющие фацию кварц-микроклиновых. С кремниво-щелочным метасоматозом в зонах деформаций гнейсового



Геологическая карта части Улигирской зоны (бассейн р. Улигира).

1 – дифференциально рассланцованные амфибол-биотитовые (а) и глиноземистые (б) гнейсы; 2 – слоистые диафториты; 3 – микрогнейсы; 4 – пойкилопорфиробластические амфиболиты; 5 – кварц-микроклиновые линзовидно-очковые метасоматиты; 6 – кварц-микроклиновые жилы; 7 – метасоматические мусковитовые кварциты (а) и сланцы (б); 8 – серые кварц-плаггиоклазовые гранатосодержащие гнейсовидные метасоматиты; 9 – черные филлониты со ставролитом, графитом и гранатом.

фундамента связаны проявления молибденита, мусковита, встречающиеся в виде отдельных кристаллов, и давидита, о чем уже упоминалось выше. По Н. Г. Судовикову [2], диафторез и метасоматоз происходили одновременно и изофациально с прогрессивным метаморфизмом желтулакской серии протерозоя.

С развитием Тукурингской ФКЗ связаны наложенные на флюидо-катакlastический комплекс протерозойские впадины, выполненные вулканогенно-осадочной желтулакской серией раннего протерозоя (радиологический возраст амфиболитов из разреза серии 1740–1910 млн лет [2]). Породы желтулакской серии слагают узкие клиновидные блоки, простирающиеся вдоль Тукурингской ФКЗ. Условно серия подразделена на две толщи. Нижняя сложена амфиболовыми и плагиоклазовыми кристаллическими сланцами, песчаниками, гравелитами. Кристаллические сланцы чередуются с амфиболовыми ортосланцами, зеленокаменными породами и метабазитами, дацитами и риолитами. Встречаются прослои карбонатных пород. Мощность толщи оценивается в 1,5 км. Верхняя толща состоит из филлитовидных и графитистых двуслюдяных сланцев, кварцитов, метапесчаников, гравелитов. Редки прослои карбонатных пород, известковистые алевролиты, зеленокаменные породы и кислые эффузивы. Мощность верхней толщи оценивается в 1100 м.

Метаморфизм желтулакской серии неравномерен. Часто встречаются порфиробластические ставролитовые, гранатовые и амфиболовые сланцы, главными породообразующими минералами которых являются мусковит, биотит, кварц, гранат, плагиоклаз, эпидот, графитистое вещество, карбонат, иногда хлоритоид, ставролит, микролин.

В бассейне Ньюжи к желтулакскому комплексу условно отнесены развальцованные конгломераты (?) (будиниты), весьма своеобразная, литологически выдержанная толща.

Наложённые комплексы гранитоидов представлены постжелтулакскими гранитами. Их массивы сосредоточены вдоль северо-восточного края Тукурингской зоны, прорывают флюидно-катакlastический комплекс нижнего протерозоя и имеют возраст не менее 707 млн лет (калий-аргоновые определения, лаборатория ДВТГУ). Они сложены среднесернистыми порфиривидными (порфиробластическими) биотитовыми гранитами. Краевые части массивов редко представлены гранодиоритами, в небольшом объеме выделяются поздняя фаза (фация?) лейкократовых мелкозернистых гранитов, жилы аплитов и пегматитов. Последние образуют вокруг массивов частую, нередко концентрическую сеть. Граниты постепенно переходят в гнейсы через зону порфиробластических мигматитов. Устанавливается пластообразная форма некоторых массивов. В региональном же плане, относительно складчатых структур позднерайских гнейсов Станового нагорья, постжелтулакские гранитные массивы ведут себя дискондартно. Тела гранитов среднего и малого размера имеют более резкие контакты, зоны рассланцевания обтекают их со всех сторон. Площадь массивов 70–80 км², иногда до 150 км². По всем признакам постжелтулакские граниты представляют собой результат магматическо-метасоматического замещения гнейсов и диафторитов главной стадии образования ФКЗ. Явно интрузивными являются лейкократовые отделения гранитов, которые встречаются как внутри гранитных массивов, так и вокруг них. В целом постжелтулакские граниты, по сравнению с архейскими, характеризуются повышенной щелочностью. По существу порфиробластические граниты и кварц-микроклинновые метасоматиты следует объединить в один комплекс порфиробластических гранитов, весьма типичный для позднекараельской-рифейской стадии развития щитов и срединных массивов. Петрографически и генетически близкие им породы рифейского возраста наблюдались нами в срединных массивах Приаргунья в южной части Балтийского щита [18, 19]. По литературным данным и геологическим отчетам формация порфиробластических гранитов этого возраста прослеживается от Казахстана–Алтая в Забайкалье. Сходные образования слагают тела в Буреинском срединном массиве, массиве Кировоградского района Украинского кристаллического щита, Эльконского района Алданского щита, т. е. районов, потенциально и фактически перспективных на уран, и поэтому они были достаточно хорошо изучены советскими геологами. Подобные же образования описаны в ураноносных районах Канады.

В фанерозое структурные формы ФКЗ определяются геодинамическими факторами. В условиях растяжения на месте протерозойских ФКЗ могут появиться впадины, в условиях сжатия – небольшие хребты типа Тукурингры. В период мезозойской ТМА Тукурингская ФКЗ находилась в условиях сжатия и не являлась проницаемой для возникающих мезозойских магм. Она делит Становой геоблок на две части, различающиеся по металлогеническим характеристикам: восточно-забайкальскую и восточно-становую.

Геологические особенности ФКЗ определяют их электрические свойства, что неразрывно связано с известным понятием «теллурические токи», под которыми понимают токи, текущие в земной коре, существование которых обусловлено электромагнитным воздействием атмосферного электричества, а также электрическими и термоэлектрическими процессами в горных породах. В основе природы всех составляющих теллурических токов лежит термомиссия электронов, т. е. энергия Солнца и внутренняя тепловая энергия Земли.

Работа теллурических токов приводит к важным геологическим результатам. Теллурические токи можно условно разделить на региональные переменные во времени, импульсные, волнового характера, индуцированные атмосферными (солнечными) электрическими явлениями и текущие в электропроводящих слоях осадочной оболочки и зоне ССН, и токи местного (локального) порядка, связанные прежде всего с электропроводящими крутопадающими ФКЗ, наводящиеся внутренним теплом Земли. Для возникновения теллурического тока нужны электропроводящее тело и поток тепла, поэтому в разведочной геофизике особое внимание уделяется составу горных пород и их электропроводности. Различают ионную (растворы) и электронную электропроводимость (металлы, сульфиды, графит). Насыщенность ФКЗ графитом и часто сульфидами обеспечивает им высокоэффективную про-

видимость, а литофлюидная дискретная природа [1, 6] пород во ФКЗ, по сравнению с относительно сухим и плотным гранито-гнейсовым вмещающим массивом, создает аномально высокую их ионную электропроводимость. По этой причине вверх по ФКЗ идут токи, индуцированные внутренним теплом Земли, где в зоне ССН встречаются и реагируют с региональными переменными во времени теллурическими токами, текущими в основании осадочного чехла. Электромагнитное влияние переменного во времени регионального теллурического тока создает вариации магнитного поля, что используется в геофизике (метод магнитно-вариационного профилирования (МВП) [1]) для выявления осевой линии наиболее глубоко залегающего электропроводящего объекта. Последний часто интерпретируется как зона ультраморфизма и магнообразования в глубоких срезах ФКЗ. В современном эрозионном срезе наиболее наглядны такие, в прошлом глубинные, зоны, представленные изостатически всплывающими окаймленными гранито-гнейсовыми куполами [1]. Их примером могут служить цепочки куполов Восточного Забайкалья Цаган-Олуй-Кутомарского и Борщёвочного хребтов [19]. Над такими глубинными линейными зонами гранитообразования выше по разрезу, над краевыми частями гранито-гнейсовых массивов, в земной коре возникают параллельные пучки рудоконтролирующих разломов и наложенные рудоносные впадины вулканогенно-осадочного выполнения этапов ТМА. К этим объектам относятся многие рудные районы Забайкалья и геологические структуры субмеридиональной Кировоградской аномалии МВП на Украинском щите [20], по обе стороны которой проходят региональные разломы, контролирующие крупные урановые месторождения. Другим примером могут служить Ладожская и Чудская аномалии МВП [20] с рудными (месторождения Карку, Питкяранта [13]) и потенциально рудными (восточное побережье Чудского озера) районами в обрамлении аномалий [21].

Выявление аномалий МВП эффективно при прогнозных исследованиях. В разведочной же геофизике применяются методы естественного электрического поля (ЕП) [22] для выявления локальных аномалий, более поверхностных электропроводящих рудоносных зон, обычно обусловленных сульфидными рудами и графитизированными породами ФКЗ с эффективной электронной проводимостью. Метод ЕП широко использовался в восточных районах России. За 20 лет до открытия с помощью электроразведки канадских классических комплексных месторождений урана вблизи ССН и предложенной в связи с этим [9, 15] схемой работы естественного гальванического элемента (ЕГЭ) читинские геологи Г. И. Князев и Р. С. Сейфуллин [10] обратили внимание на рудоконтролирующую роль естественных гальванических элементов, позднее смоделированных канадскими геологами и вслед за ними В. Е. Голомолзиным. В работе [10] дано объяснение сонахождения катионов металлов и анионов серы в концентрациях, обеспечивающих образование крупных скоплений сульфидных руд на примере полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья с позиций гальванической работы «теллурических токов с фиксацией сульфидов на природных электродах». При этом подчеркивались постоянная составляющая регионального электрического поля и ее роль в рудообразовании. В то же время И. Д. Волков [23] установил, что естественное электрическое поле может возникать не только в электронных проводниках (сульфидах), но и меняющееся во времени электрическое поле может быть связано с движущейся пленочной водой, несущей положительный, относительно твердых частиц, заряд. Переменное во времени поле зависит от изменений температуры и влажности и поэтому наблюдается в верхних слоях Земли и зоне повышенного эндогенного теплового потока. В качестве примера в [10] приведена измеренная разность потенциалов 150 мВ на 5,5 км в Ключевском рудном районе, указаны случаи напряженности поля до 2,35 мВ/м в Горно-Зерентуйском районе.

В модели ЕГЭ рассматриваются сложная окислительно-восстановительная серия химических реакций, вызванных теллурическими токами, и как следствие этого формирование минералогической рудной зональности. За основу принята модель «катода» – окислительных пород зоны ССН и «анода» – верхней части ФКЗ, выходящей под ССН, где и образуется рудная зональность, представляющая собой энергонасыщенную область литосферы, позволяющую применять различные геофизические методы ее поисков.

Несколько другой аспект этой проблемы обсуждается в работах А. А. Воробьева [24], который, ссылаясь на представления Г. Л. Поспелова [6] о флюидо-каркасных динамических системах, вводит понятия об объемном заряде в неэлектропроводных геологических объектах, электропробое (разряде) и подземных молниях. С этих позиций теллурические токи могут оказывать существенное влияние не только на рудообразование по схеме ЕГЭ, но и на геологические свойства горных пород. Во флюидо-каркасной динамической системе на границе электропроводного флюида и непроводящих твердых частиц в последних возникает множество объемных микроразрядов. При их разряде будут резко ослабевать прочность всей системы, увеличиваться их текучесть. А. А. Воробьев рассматривает и вариант тлеющих и дуговых более крупных зарядов, которые могут вызывать реакции синтеза химических соединений. Именно так мы склонны объяснять наблюдаемый уникальный факт причудливо изогнутой как змея выклинивающейся жили совершенного свежего бутылочного-зеленого стекла мощностью в первые десятиметры и длиной в метры в совершенно не измененных не трещиноватых монолитных гранитах в районе Дарасунского золоторудного поля на севере Восточного Забайкалья.

Все вышеприведенные геолого-геофизические факты показывают, что исследование теллурических токов следует продолжать на современном геологическом уровне для получения новых практических и научных данных при решении металлогенических и геодинамических задач, прежде всего в условиях ССН.

Summary

Afanasov M. N. Fluidal-cataclastic zones and their electrical propertys.

Features of fluidal-cataclastic zones of the crystalline basement, which conduct endogenic energy, fluids and ore elements to the sedimentary cover base, are discussed. The details of such zones are studied on the example of the Tukuringa zone, the North Amur area. The role of telluric currents in the formation of deposits near unconformity surfaces is described.

Литература

1. *Петрология и флюидный режим континентальной литосферы* / Ред. И. К. Карпов. Новосибирск, 1968.
2. *Геология и петрология южного обрамления Алданского щита* / Ред. Н. Г. Судовиков. Л., 1965.
3. *Зеленокаменные пояса древних щитов* / Ред. И. В. Лучицкий. М., 1982.
4. *Щеглов А. Д.* О металлогении Южно-Африканской Республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранда и проблеме открытия их аналогов в России. СПб., 1994.
5. *Маракушев А. А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М., 1999.
6. *Поспелов Г. Л.* Проблемы эндогенной динамической флюидологии // Геология и геофизика. 1969. № 11–12.
7. *Махлеев Л. В., Голубева И. И.* Флюидиты требуют внимания // Природа. 2001. № 9.
8. *Молчанов А. В., Клюев Н. К.* Месторождения типа несогласия и возможность их обнаружения на древних щитах Сибирской платформы // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2002. Вып. 2 (№ 15).
9. *Hoeve J., Ouir O.* A stationery redox front as a crytical in the formation of high-grade, unconformity type uranium ores in the Athabasca basin, Saskatchewan, Canada // Bull. Mineral. 1987. Vol. 110, N 2–3.
10. *Князев Г. И., Сейфуллин Р. С.* К проблеме гидротермального сульфидного рудообразования // Геология и геофизика. 1966. № 4.
11. *Поляк Б. Г.* Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. М., 1988.
12. *Афанасов М. Н., Николаев В. А.* Перспективы алмазоносности Карельского перешейка (Западное Приладожье) // Региональная геология и металлогения. 2003. № 18.
13. *Региональная геология и металлогения.* 1999. № 8.
14. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе / Пер. с англ. Ю. Г. Рудного. М., 1987.
15. *Голомолзин В. Е.* Физико-геологическая модель месторождений типа несогласия – основа технологии поисков богатых комплексных урановых месторождений // Рос. геофиз. журн. 1994. № 3–4.
16. *Штилле Г.* Ассинская тектоника в геологическом лике Земли. М., 1968.
17. *Афанасов М. Н.* Внешнее поле напряжений и подобие геологических структур // Тез. Всесоюз. совещания по внутренней геодинамике. 22–30 ноября 1972 г. Л., 1972. Вып. 1.
18. *Афанасов М. Н.* Геологическая природа кристаллического фундамента севера Карельского перешейка // Отеч. геология. 2000. № 6.
19. *Афанасов М. Н.* Неоднократно активизированные гранито-гнейсовые массивы Юго-Восточного Забайкалья // Геология и геофизика. 1980. № 2.
20. *Рокитянский И. И.* Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев, 1975.
21. *Коровые аномалии электропроводности:* Сб. науч. трудов / Отв. ред. А. А. Жамалетдинов. Петрозаводск, 1984.
22. *Семенов А. С.* Электроразведка методом естественного поля. 3-е изд. Л., 1980.
23. *Волков И. Д.* Меняющиеся во времени естественные электрические поля и их возможная роль в процессах рудообразования // Физика Земли. 1974. № 11.
24. *Воробьев А. А.* О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1960. № 12 (132).

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2005 г.