

21. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Геохимия серы в процессах эволюции магм. – М.: Наука, 1982. – 148 с.
22. Горбачев Н.С. Флюидно-магматическое взаимодействие в сульфидно-силикатных системах. – М.: Наука, 1989. – 127 с.
23. Коробейников А.Ф. Платиновые металлы в золоторудных месторождениях складчатых структур Сибири и Северо-Восточного Казахстана // Геохимия. – 1998. – № 10. – С. 1009–1020.
24. Коробейников А.Ф. Комплексные золото-платиноидно-редкометалльные месторождения – резерв XXI века // Известия Томского политехнического университета. – 2001. – Т. 304. – № 1. – С. 169–182.
25. Коробейников А.Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. – 177 с.
26. Коробейников А.Ф. Особенности поведения золота при площадном и локальном метасоматозе гранитоидных интрузий Саяно-Алтайской складчатой области // Геохимия. – 1977. – № 2. – С. 288–297.
27. Коробейников А.Ф. Рудно-метасоматическая зональность на месторождениях золота // Геология рудных месторождений. – 1983. – № 1. – С. 96–99.
28. Хэ Ин. Региональная, промежуточная и локальная зональность Au, Mo, W, Sn-оруденений на примере районов России и Китая // Известия вузов. Геология и разведка. – 1998. – № 1. – С. 154–155.
29. Коробейников А.Ф. Критерии связи золотого оруденения с магматизмом и метасоматизмом в Саяно-Алтайской складчатой области // Критерии прогнозной оценки эндогенного оруденения Алтае-Саянской области. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 89–93.
30. Коробейников А.Ф., Черняева Е.И. Поведение золота при формировании зональных дайковых тел габбро-диабазов // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 292. – № 3. – С. 680–684.

Поступила 1.06.2007 г.

УДК 553.493.6:528.7(571.15)

## КОСМОСТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ РАЙОНА КАЛГУТИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

А.А. Поцелуев, Ю.С. Ананьев, И.Ю. Анникова\*, А.Г. Владимиров\*, А.Н. Василевский\*\*, Л.В. Витте\*\*

Томский политехнический университет

E-mail: poan@ign.tpu.ru

\*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: ira99@uiggm.nsc.ru

\*\*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: kontorovichAE@uiggm.nsc.ru

*Изучены космоструктуры района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) по материалам мультиспектральной космической съемки Landsat ETM+ и радиолокационной съемки SRTM. Район локализован внутри крупной кольцевой структуры сложного строения, характеризующейся длительным многоэтапным (многоимпульсным) развитием. Установлено погружение корневой (очаговой) части структуры с запад – северо-запада на восток – юго-восток. Положение кольцевой структуры контролируется узлом пересечения зон разломов северо-западного, северо-восточного и северо-восточно – субширотного направлений. Калгутинский гранитный массив и собственно месторождение находятся во внутреннем поясе структуры в кольце диаметром 15,2 км. Высоко оценены перспективы рудоносности юго-восточной части района, в связи с развитием малых кольцевых структур второго типа.*

### Введение

Исследование условий формирования месторождений, выявление источников вещества и энергии, а так же причин рудоотложения являются важнейшими вопросами минерогении. Их решение лежит в основе генетических построений и является базой прогнозно-поисковых моделей. Для многих крупных и гигантских месторождений золота, урана, полиметаллов, алмазов и других полезных ископаемых [1, 2] устанавливается связь с крупными структурами земной коры, которые находят свое отражение в материалах региональных геологических, геофизических и космических исследований.

В последние годы получены новые данные об особенностях геологического строения, петрологии магматических образований и вещественном составе руд Калгутинского месторождения, позволяющие утверждать о значительном энергетическом и вещественном влиянии мантийного источника на Калгутинскую флюидно-магматическую систему. Применение мультиспектральных космических съемок, обладающих значительной обзорностью, высокой информативностью при соответствующем пространственном разрешении, позволяют получить новые данные о региональных геологических структурах и глубинном строении района месторождения. При этом появляется ряд новых структур, которые ранее не выделялись при выполнении наземных геологических и геофизических исследований.

### Методика исследований

В работе использованы материалы мультиспектральной космической съемки системой Landsat ETM+ (табл. 1). Высота орбиты 705 км, наклонение 98,2°. Каналы 1–3 дают информацию в видимом диапазоне спектра, канал 4 – в инфракрасной, 5–7 – в ближней и дальней тепловой области, 8 канал (PAN канал) – дает информацию в широком диапазоне видимой и ближней ИК областях. Пространственное разрешение (линейный размер пиксела) по каналам меняется от 15 до 60 м. Дополнительно по данным радиолокационной съемки радаром SRTM (Shuttle radar topographic mission) создана цифровая модель рельефа.

**Таблица 1.** Основные характеристики радиометра ETM+ (Landsat 7) [3, 4]. Полоса обзора 185 км. Повторяемость съемки 16 сут.

Номера каналов	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м
1	0,450...0,515	30
2	0,525...0,605	30
3	0,630...0,690	30
4	0,75...0,90	30
5	1,55...1,75	30
6	10,40...12,50	60
7	2,09...2,35	30
8	0,52...0,90	15

Обработка, дешифрирование, анализ космоматериалов и моделирование геологических и рудных систем выполнены в соответствии с методическими рекомендациями и подходами [3, 4]. Принципиальная схема работ состояла из:

- формирования массива исходных данных;
- обработки и дешифрирования исходных растровых изображений с использованием алгоритмов классификации, процедур улучшения, комплекса методов фильтрации и передискретизации изображения;
- создания и обработки синтезированного изображения мультиспектральных снимков. Перекалибровка исходных изображений низкого пространственного разрешения в изображения более высокого разрешения с использованием пиксельной матрицы PAN;
- создания производных растровых изображений с использованием «алгебры карт»;
- корреляционного анализа синтезированного изображения;
- обработки и дешифрирования теплового канала;
- обработки и анализа цифровой модели рельефа;
- совместного анализа растровых изображений и цифровой модели рельефа, дешифрирования с использованием 3D-визуализации, создания и интерпретации анаглифических изображений.

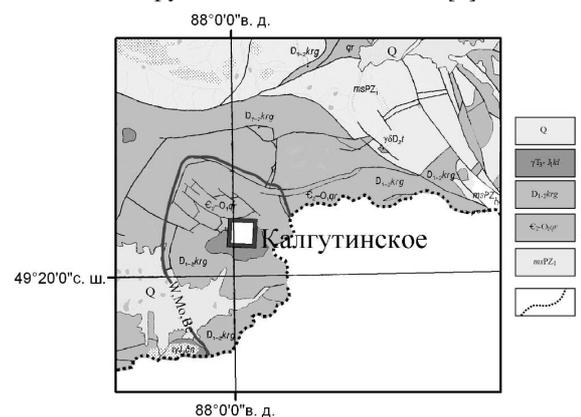
Интерпретация полученных данных проводилась с использованием материалов по геологическому строению района и полученных авторами

результатов изотопных, геохимических и минералогических исследований магматических и гидротермально-метасоматических образований Калгутинского рудного поля.

### Геологическое строение

Рассматриваемый район является составной частью окраинно-континентального вулканического пояса Горного Алтая, сформировавшегося на сиалическом блоке Алтае-Монгольского микроконтинента. В его строении выделяется два структурных этажа – раннепалеозойского и среднепалеозойского возраста (рис. 1). К первому относятся терригенные отложения горноалтайской серии (Є<sub>3</sub>-О), ко второму – красноцветные осадочно-вулканогенные отложения и субвулканические образования аксайской свиты (D<sub>1-2</sub>). Последние в районе Калгутинского месторождения выполняют одноименную вулcano-тектоническую депрессию, в центре которой расположен интрузивный массив, имеющий то же название.

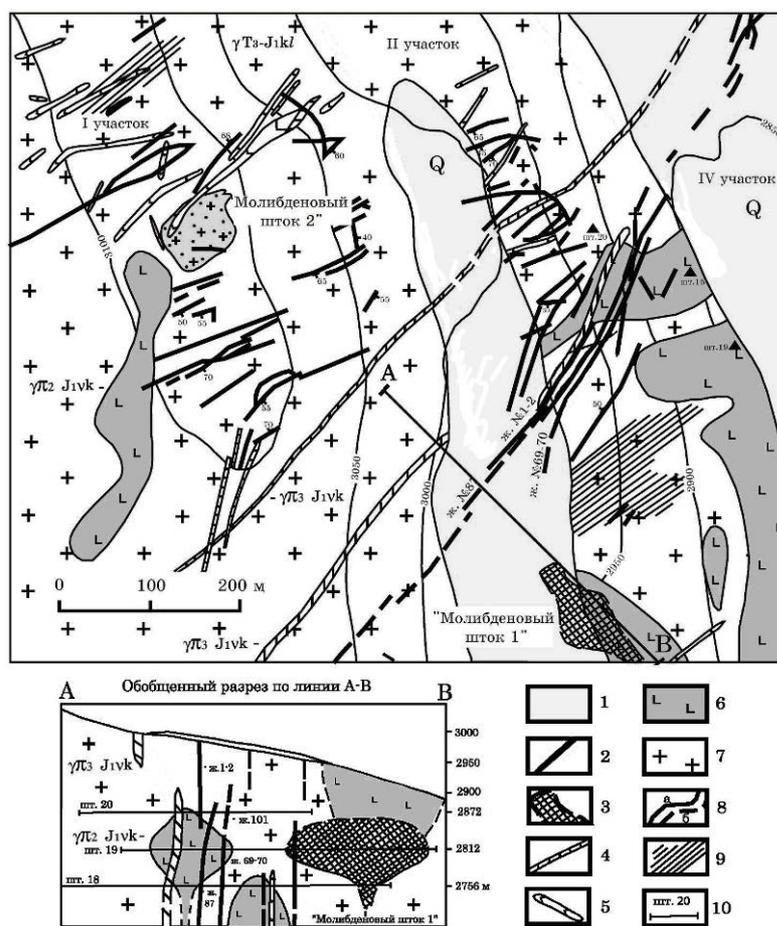
На современной эрозионной поверхности Калгутинский массив имеет форму широтно-ориентированного ассиметричного овала. Общая площадь выходов составляет около 70 км<sup>2</sup>, рис. 1. Контакты гранитов с вмещающими породами повсеместно имеют интрузивный характер. Гранитоиды, слагающие массив, относятся к Л-типу, и их образование связано с позднепалеозойским-раннемезозойским этапом внутримитной тектонотермальной активизации [5, 6]. Особенности этого периода определяются проявлением Сибирского пермотриасового суперплюма на Сибирской платформе и в ее складчатом обрамлении, для заключительного этапа которого характерно локальное проявление мантийного рудоносного магматизма [7].



**Рис. 1.** Схема геологического строения района Калгутинского месторождения (составлена с использованием материалов Горно-Алтайской ПСЭ): 1) четвертичные отложения, 2) калгутинский гранит-лейкогранитный комплекс, 3) каргонская свита вулканитов преимущественно кислого состава и аксайский субвулканический комплекс трахиандезит-дацит-риолитового состава, 4) горноалтайская серия ритмичнопереслаивающихся пестроцветных песчаников, алевролитов, глинистых сланцев, 5) кокурский метапелит-зеленосланцевый комплекс, 6) государственная граница

В формировании Калгутинского редкометалльно-гранитного массива выделяются два интрузивных ритма (комплекса). Ранний ритм (собственно калгутинский комплекс), слагающий более 90 % от общей площади массива, представлен биотитовыми порфиroidными гранитами главной фазы, двуслюдяными и мусковитовыми лейкогранитами фаз дополнительных интрузий, а также жилами аплитов и аплитопегматитов заключительной фазы. По данным последних изотопно-геохронологических исследований возраст биотитовых порфиroidных гранитов оценивается в 218...216 млн л [5, 8]. С поздним ритмом (восточно-калгутинский комплекс) связано внедрение дайкового пояса апатит- и флюоритсодержащих гранит-порфиров, эльванов и онгонитов, в том числе ультраредкометалльных, получивших собственное наименование «калгутиты» из-за специфики минерального состава, указывающего на кристаллизацию апатита вместо топаза [9]. Абсолютный возраст пород позднего ритма составляет 205...201 млн л [8].

Оруденение Калгутинского месторождения представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом и штокообразных преимущественно молибденит-кварцевых тел, рис. 2. Протяженность жил колеблется от первых десятков до 1000 м при мощностях, редко превышающих 1 м. Вертикальная амплитуда оруденения составляет более 500 м. Кварцеворудные жилы, как правило, сопровождаются грейзеновыми оторочками мощностью до 0,5 м. Отмечаются изолированные участки грейзенов, в форме линейных зон, раздувов и столбообразных тел типа «Мо-шток». По данным полевых наблюдений [10] установлено, что наиболее поздние дайки «калгутитов» имеют сложный характер взаимоотношения с рудными жилами и грейзеновыми телами – они являются как внутрирудными, так и пострудными, что указывает на близкое время формирования даек и главного промышленного оруденения.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Калгутинского месторождения (составлена по данным Н.И. Тимофеева и Б.Г. Семенцова с авторскими дополнениями): 1) четвертичные аллювиально-делювиальные отложения; 2) рудоносные кварцевые жилы; 3) автономное грейзеновое образование с богатым молибденитовым оруденением «Молибденитовый шток 1»; 4) дайки измененных «калгутитов» ( $\gamma\pi T_3-Jvk$ ); 5) микрогранит-порфиры ( $\gamma\pi T_3-Jvk$ ); 6) альбитизированные гранит-порфиры; 7) порфиroidные биотитовые граниты ( $\gamma T_3-Jkl$ ); 8) геологические границы: а) достоверные, б) предполагаемые; 9) зоны дробления; 10) проекции штолен и их номера

Руды месторождения являются комплексными как в геохимическом, так и в экономическом аспекте. Наряду с типичными полезными компонентами грейзенового оруденения (Be, W, Mo), промышленное значение на месторождении имеют Cu и Bi. В рудах отмечаются высокие содержания элементов различных геохимических групп (лито-, халько- и сидерофильных) – Nb, Ta, Ba, U, Li, Rb, Cs, La, Lu, Au, Ag, Pt, Pd, Os, Rh, Cd, Sb, As, Pb, Zn, Cr, Mn [11]. Минеральный состав руд характеризуется значительным разнообразием – известно более 50 гипогенных рудных и жильных минералов, при этом наряду с распространенными оксидами, сульфидами и сульфосолями, встречаются самородные элементы: золото, висмут, медь, углерод (графит). В составе газовой-жидких включений в кварце рудоносных образований присутствуют  $H_2O$ ,  $CO_2$ , CO,  $H_2$ , а также предельные ( $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_5H_{12}$ ,  $C_6H_{14}$ ) и непредельные ( $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ) углеводороды. С глубиной уменьшается содержание  $H_2O$  и  $CO_2$ , но увеличивается содержание CO,  $H_2$  и углеводородов в составе флюида. Формирование оруденения происходило в контрастных условиях окисления первично восстановленного глубинного металлоносного флюида [12, 13].

В эволюции Калгутинской флюидно-магматической системы выделяется два этапа и пять стадий, в пределах которых закономерно взаимосвязано проявляются несколько импульсов внедрения магматических расплавов и гидротермально-метасоматического рудообразования.

Первый дорудный этап парагенетически связан с порфиридными биотитовыми гранитами главной интрузивной фазы и включает одну турмалин-вольфрамит-кварцевую стадию.

Второй – главный этап рудообразования – объединяет два подэтапа. Первый подэтап включает стадию формирования автономного грейзенового оруденения типа «Мо-шток», по-видимому, парагенетически связанного с калгутинским гранит-лейкогранитным комплексом. Второй основной подэтап

рудообразования объединяет последовательные образования редкометалльно-гюбнерит-кварцевой, сульфосолю-сульфидно-кварцевой и заключительной карбонат-кварцевой стадий минералообразования. Образования сульфидно-сульфосолю-кварцевой стадии преимущественно телескопированы в более ранние структуры с образованием сложных по составу сульфидно-сульфосолю-редкометалльно-гюбнерит-кварцевых жил. В пределах этого подэтапа происходило внедрение и становление восточно-калгутинского дайкового комплекса.

Выполненные исследования позволяют рассматривать геологические образования месторождения как продукты развития единой эволюционирующей флюидно-магматической системы. Доказательством этого является близость абсолютного возраста, геохимическая характеристика геологических образований и анализ корреляционных связей их нормированных геохимических спектров [5, 8, 12 и др.]. В процессе развития флюидно-магматической системы влияние глубинного флюида нарастает и достигает максимума во время формирования минеральных ассоциаций основной сульфидно-сульфосолю-кварцевой стадии минералообразования.

Выявленные минералого-геохимические признаки указывают на определяющее влияние глубинных (мантийных) процессов при формировании Калгутинской рудно-магматической системы.

#### Основные результаты

Проведенные исследования материалов космической съемки Landsat ETM+ и анализ цифровой модели рельефа (рис. 3, 4) позволяют сделать вывод о том, что в районе Калгутинского месторождения широко развиты крупные структуры линейной и кольцевой форм.

Методика космогеологического картирования подразумевает проведение интерпретации дистанционных данных в условной линейке масштабов: от мелкого к более крупному. Это дает возможность

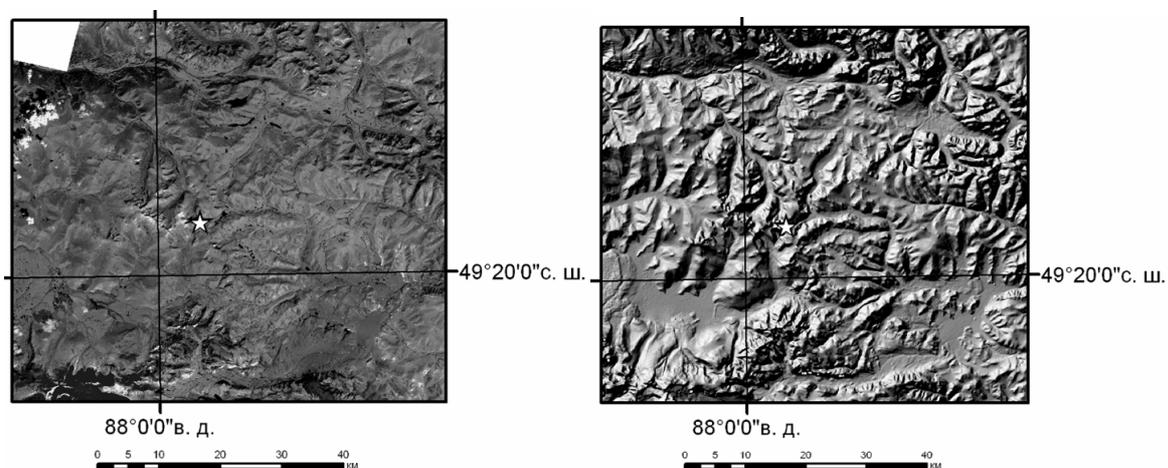


Рис. 3. Композит дистанционной основы по материалам космической съемки Landsat ETM+ (слева) и цифровая модель рельефа по материалам SRTM (справа). Звездочкой здесь и далее показано положение Калгутинского месторождения

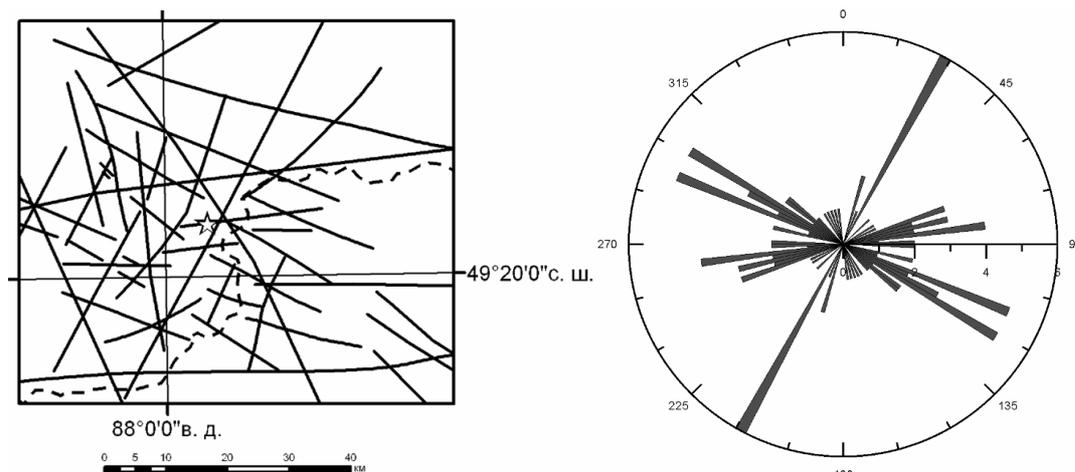


Рис. 4. Схема линеаментов района Калгутинского месторождения и их роза-диаграмма. Пунктирной линией здесь и далее показана государственная граница

установить принадлежность мелких, непротяженных линеаментов к более крупным структурам, а также выявить закономерности и характерные особенности строения крупных объектов, расшифровать их возрастные взаимоотношения и в целом определить тренд геологического развития района и его отдельных частей.

Линейные структуры района отчетливо проявлены следующими признаками: прямолинейными участками элементов рельефа, прямолинейными фрагментами границ между блоками с различной текстурой рельефа, линейными границами разновидностей растительного покрова, ландшафтными неоднородностями линейной морфологии, прямолинейными участками границ между геологическими телами и др.

Всего в районе дешифрировано более 40 линеаментов разной протяженности и направления (рис. 4), интерпретируемые как разрывные нарушения. Наряду с преобладающими по численности структурами протяженностью от 5 до 30 км, создающими в центре района структуру «битой тарелки», выделяются крупные линейные зоны, пересекающие весь район и выходящие за пределы изученной площади. К ним относятся структуры северо-западного (около 330°), северо-восточного (30°) и северо-восточно-субширотного (около 80°) направлений. При этом Калгутинское месторождение находится в узле их пересечения.

Анализ ориентировки выявленных структур показывает, что по количеству преобладают линеаменты северо-восточного (30°), субширотного (80...90°) и северо-западного простирания (рис. 4).

В районе дешифрировано и откартировано 20 кольцевых структур (КС) и их дуговых фрагментов (рис. 5). Признаками выделения КС являются:

- кольцевые и дуговые границы между блоками с различной текстурой рельефа;
- кольцевые и дуговые границы между дешифрируемыми геологическими телами;

- границы ландшафтных неоднородностей, дуговой и кольцевой морфологии.

С целью анализа КС был создан модуль для ГИС ARCVIEW, позволяющий определять их размеры и координаты центроидов (рис. 5). Диаметр КС меняется в значительном пределе от 5 до 50 км. При этом в северо-восточном углу площади выделяется фрагмент КС еще большего размера, но основная ее часть находится за пределами изученной площади. По размерам, особенностям пространственного положения, взаимоотношению все КС можно разделить на две группы.

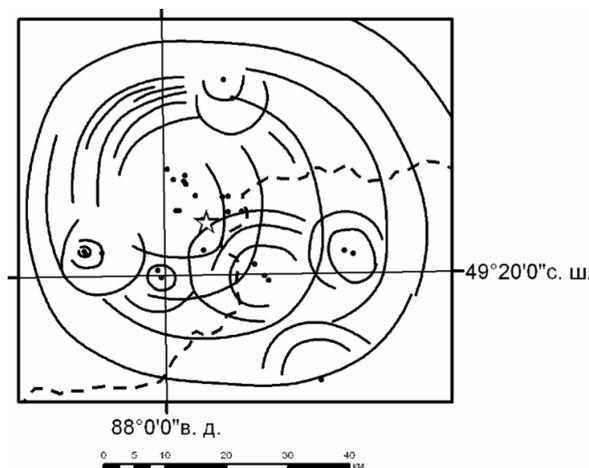
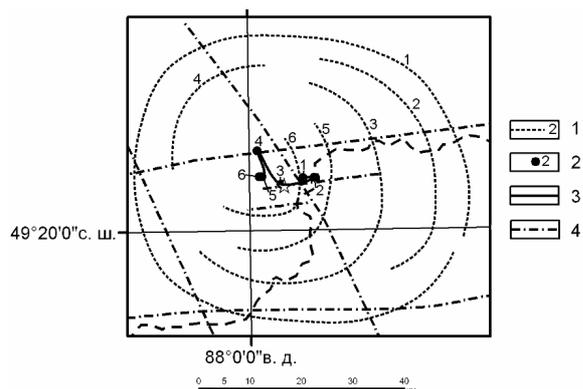


Рис. 5. Кольцевые структуры и их центроиды (черные точки) района Калгутинского месторождения

Первая группа – это основная КС, охватывающая весь район Калгутинского месторождения в которую закономерно вложены (телескопированы) КС меньшего размера. При этом от большей структуры к меньшей происходит закономерная локализация площади, в центре которой находится Калгутинский массив (рис. 6). При явной телескопированности, эти структуры характеризуются выраженной эксцентричностью – их центроиды смещаются в запад – северо-западном направлении.



**Рис. 6.** Космоструктурная модель района Калгутинского месторождения: 1) основные кольцевые структуры и их номера, 2) центроиды кольцевых структур и их номера, 3) проекция на дневную поверхность траектории изменения положения очага Калгутинской рудно-магматической системы, 4) главные линеаменты района

Ко второй группе отнесены шесть малых КС (диаметр не более 15...20 км), выделяющихся 2–3 кольцами. Они не обнаруживают видимой связи с Калгутинским массивом, располагаются по периферии района, но основная их часть сосредоточена в южной – юго-восточной части района.

Важной характеристикой КС является положение ее центроида и глубина заложения очага, с которым связано образование КС. В соответствии с представлениями [3, 14] видимый диаметр структур на поверхности в 2...4 раза больше, чем глубина очага. Нами принята средняя величина (3) и рассчитана глубина формирования КС первой группы (табл. 2). Таким образом, глубина их формирования последовательно от КС большего размера к меньшему уменьшается от 15,8 до 5,1 км. Принимая во внимание, что развитие процесса шло по восходящей, а положение центроидов в плане соответствует области очага, последовательное соединение центроидов показывает траекторию (проекция на горизонтальную плоскость) пульсационного развития эндогенной системы (рис. 6). Полученная таким образом траектория указывает на то, что в целом при подъеме очага к поверхности он смешался с востока – юго-востока на запад – северо-запад. Но на отдельных участках траектория «контролировалась» то структурами субширотного, то северо-западного направления.

**Таблица 2.** Основные параметры кольцевых структур (рис. 6)

№	Диаметр, км	Глубина заложения, км
1	47,4	15,8
2	45,4	15,1
3	38,4	12,8
4	32,8	10,9
5	26,6	8,9
6	15,2	5,1

### Обсуждение результатов

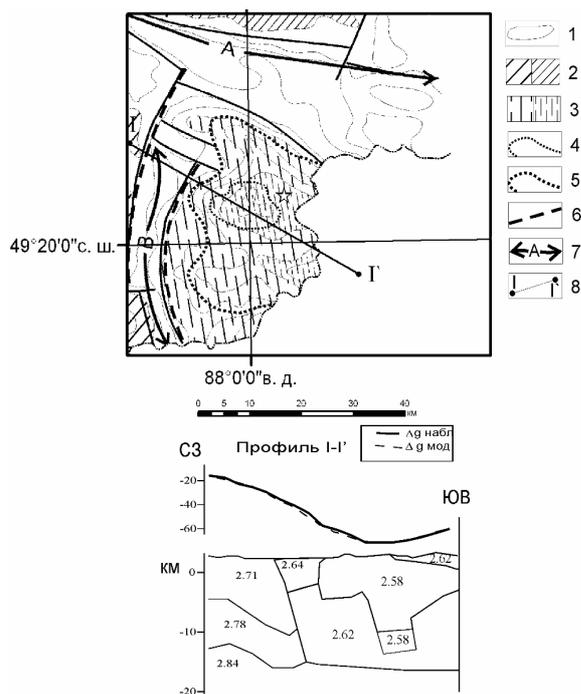
Район Калгутинского месторождения локализован внутри крупной изометричной кольцевой структуры, размер которой оценивается как минимум в 50 км. Структура приурочена к узлу пересечения трех зон разломов северо-западного (около 330°), северо-восточного (30°) и северо-восточно – субширотного (около 80°) направлений. Район характеризуется телескопированным эксцентричным характером расположения колец основной структуры с проявленными автономными локальными структурами (вторая группа), преимущественно сосредоточенными в юго-восточной части района. Само Калгутинское месторождение находится во внутренней части основной кольцевой структуры.

Характер расположения центроидов колец основной кольцевой структуры позволяет восстановить характер и траекторию перемещения очага, формирующего данные структуры. Возможно, это была серия последовательно сформировавшихся очагов, которые имели генетическую или парагенетическую связь и длительное время развивались одновременно. При подъеме очага к поверхности он смешался с востока – юго-востока на запад – северо-запад. Иначе говоря, структура, контролирующая развитие Калгутинской рудно-магматической системы, погружается с запад – северо-запада на восток – юго-восток. Такой вывод подтверждается результатами геолого-геофизического моделирования с использованием данных гравиметрии [15]. Их анализ показывает наличие в центральной части интрузивного массива глубокозалегающей «ножки» шириной 1...2 км, погружающейся на юго-восток под углом 45...60° (рис. 7).

Кольцевые структуры выделяются во всех районах и на месторождениях разного состава и генезиса. Чем меньше размер КС, тем более однороден ее вещественный состав. Крупные КС включают в своих границах образования (комплексы) различного состава, генезиса и возраста. Соответственно с увеличением размера КС увеличивается и сфера рудного контроля. Здесь прослеживается аналогия с иерархией оруденения в диапазоне от рудного тела к провинции.

Как правило, большинство исследователей указывают на ударно-взрывной характер КС. Из совокупности всех представлений о природе ударно-взрывных явлений, образующих КС, можно выделить принципиально две точки зрения на их генезис – космогенная (астроблемы) и эндогенная (геоблемы).

Сторонники космогенной концепции считают, что начальным импульсом развития КС является ударно-взрывное воздействие падающего космического тела. Это воздействие охватывало земную кору и проникало в мантию, что приводило к активизации эндогенных геологических процессов и, как следствие, к формированию различных полезных ископаемых.



**Рис. 7.** Схема районирования локальных гравитационных аномалий южной части Горного Алтая (составлена А.Н. Василевским, Л.В. Витте, И.Ю. Анниковой, А.Г. Владимировым по данным гравиметрической съемки масштаба 1:200 000 Майминской ГГЭ): 1) изолинии напряженности гравитационного поля; 2, 3) аномалии силы тяжести (частота штриховки – интенсивность аномалий): относительные максимумы (2), минимумы (3); 4) контур выходов на поверхность Калгутинского плутона; 5) контуры погребенного массива по данным моделирования; 6) глубинные разломы; 7) гравитационные ступени (А, В); 8) расчетный профиль

Закономерный геологический и минерогенический характер развития Горного Алтая, телескопированное строение однозначно указывают на эндогенную природу кольцевых структур района Калгутинского месторождения.

Сторонники эндогенной концепции считают, что первопричиной образования КС являются глубинные взрывы огромной мощности, обусловленные импульсивным подъемом флюидов (сопровождающихся внедрением порций глубинных расплавов и/или приводящих к расплавлению пород земной коры) к земной поверхности вследствие дегазации ядра Земли [16], либо другими эндогенными факторами.

К признакам проявления взрывных процессов в развитии Калгутинской системы можно отнести следующие факты:

- наличие на месторождении эксплозивных брекчий, слагающих изометричные трубообразные тела («Мо-шток 2»), названные Г.Э. Дашкевичем [17] «трубками взрыва». Отмечается определенная согласованность региональных и локальных структурных факторов – вертикальная ось тела склоняется под углом 70° на юго-вос-

ток. Также известны тела брекчий уплощенной дугообразной формы;

- шарообразная форма в плане и на разрезе тел «Мо-шток 1 и 2» (рис. 2). Их морфология указывает на то, что они образовались в участках пространства, подвергшегося резкому (взрывообразному) воздействию, сопровождающемуся разрушению пород в изометричном объеме, на форму которого существенно не влияла неоднородность геологического субстрата. Иначе говоря, если образование трубообразных тел можно связать с длительным процессом в зоне пересечения разноориентированных разрывных нарушений, то шарообразные тела формировались импульсно и динамично практически равнозначно во всех направлениях.

На природу эндогенных взрывов существуют разные точки зрения, при этом важнейшим является вопрос их энергетического источника [18]. Представляется, что при формировании Калгутинской рудно-магматической системы могли быть реализованы два основных механизма – взаимодействие газов разного состава и электрические разряды большой мощности.

Исследование флюидных включений рудоносных кварцев месторождения показало присутствие в их составе большого числа взрывоспособных газов (табл. 3). В первую очередь к ним относятся угарный газ, водород и различные углеводороды. Их концентрация различна в разных телах, но общим является то, что с глубиной их содержание увеличивается, а воды значительно снижается [19]. То есть в область рудообразования поступал «сухой» преимущественно водородно-углеводородный флюид.

**Таблица 3.** Средние содержания основных газов в кварце Калгутинского месторождения, мг/кг

Рудные тела		H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	ΣУВ	Сумма
Ж. 87	Горизонт 20	1280	80	15	<2	32	1400
	Горизонт 18	970	71	27	2	40	1110
	Вся жила	1030	72	17,5	<2	36	1150
Ж. 69–70	Горизонт 19	1300	43	4,7	<2	13	1360
	Горизонт 18	1000	43	9,3	<2	20	1080
	Вся жила	1150	43	7	<2	16	1220
Шток 1	Горизонт 19	1650	75	10	<2	24	1760
	Горизонт 18	1420	77	10	<2	31	1540
	Весь шток	1500	76	10	<2	28	1630
Шток 2, поверхность		880	85	43	6	54	1070

Примечание.  $\Sigma УВ = CH_4 + C_2H_2 + C_2H_{4,6} + C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{12} + C_6H_{14}$

Появление в системе кислорода (источником могли являться вмещающие породы, подвергающиеся кислотному выщелачиванию – «протонированию») приводило к окислению флюида. Эти реакции сопровождалось значительным выделением энергии (табл. 4). При этом появляющаяся в системе вода играла роль катализатора, способного ускорять взаимодействие веществ в тысячу и более раз [14]. Такие взрывы приводили к возникновению камер сжатия, а затем зон дробления и трещинообразования.

**Таблица 4.** Тепловой эффект реакций, характерных для взрывчатых газовых смесей [14, 20]

Газ	Уравнение процесса	Тепловой эффект, кДж/г·моль
Водород	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$	573
Метан	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	892
Ацетилен	$2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2604
Этан	$2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	3123
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	2221
Бутан	$2\text{C}_4\text{H}_{10} + 13\text{O}_2 = 8\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$	5761
Угарный	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	556

Очевидно, что этот механизм мог быть реализован на заключительном собственно гидротермальном рудообразующем этапе развития системы, на небольшой глубине и сопровождался образованием на поверхности округлых морфоструктур малого диаметра. Возможно, с этими явлениями в начале гидротермального этапа связано формирование штокообразных рудных тел.

Возможность электрического (электрокинетического) механизма взрывных процессов большой мощности с формированием структур центрального типа описана в работе А.А. Воробьева [21]. Показано, что в земных недрах возможно проявление и накопление свободных электрических зарядов, образование объемных зарядов и проявление разрядов грозового типа. При значительном перечне причин возникновения этого процесса наиболее вероятным является контактная электризация различных по электропроводности тел, особенно в зонах разломов, а так же на участках значительных градиентов температур, давлений или концентраций химических элементов. Наличие зон различной и в том числе повышенной электропроводности на различных глубинах в коре и мантии и их связь с гипоцентрами землетрясений показана в работе О.А. Степанова [18]. По расчетам А.А. Воро-

бьева [21] в земной коре возможны разряды с энергией  $10^{20}$  Дж, что сопоставимо и даже превосходит энергию, выделяющуюся при землетрясениях и вулканических извержениях.

Электрический механизм взрывных процессов мог быть основным на начальном (тектонно-магматическом) этапе развития Калгутинской системы и его проявление при движении металлоносных водород – углеводородных флюидов в область рудоотложения весьма вероятно.

#### Основные выводы

Установлено:

- район Калгутинского месторождения локализован внутри крупной кольцевой структуры сложного строения. Размер структуры составляет как минимум 50 км. Телескопированный эксцентричный характер структуры указывает на длительный многоэтапный (многоимпульсный) характер ее развития. Установлено погружение корневой (очаговой) части структуры с запад – северо-запада на восток – юго-восток;
- положение кольцевой структуры контролируется узлом пересечения трех зон разломов северо-западного (около  $330^\circ$ ), северо-восточного ( $30^\circ$ ) и северо-восточно – субширотного (около  $80^\circ$ ) направления;
- Калгутинский гранитный массив и собственно месторождение находятся во внутреннем поясе структуры в кольце диаметром 15,2 км;
- в пределах рудного района можно выделить ряд перспективных участков, связанных с развитием малых кольцевых структур второго типа.

Авторы признательны Ф.А. Летникову за конструктивную критику и полезные советы. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 05-05-64356 и 06-05-65137).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перцов А.В., Гальперов Г.В., Антипов В.С. и др. Космоструктурные критерии локализации рудных гигантов // Отечественная геология. – 1999. – № 6. – С. 17–21.
2. Томсон И.Н., Полякова О.П. Особенности локализации, строения и состава крупных и уникальных месторождений цветных и благородных металлов // Отечественная геология. – 1994. – № 11–12. – С. 24–30.
3. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. – СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕ-ГИИ, 2000. – 316 с.
4. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. и др. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск: STT, 2007. – 232 с.
5. Борисенко А.С., Сотников В.И., Изох А.Э. и др. Пермотриасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 1. – С. 166–182.
6. Дистанов Э.Г., Борисенко А.С., Оболенский А.А. и др. Особенности металлогении полиаккреционной Алтае-Саянской оро-
7. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1243–1261.
8. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Выставной С.А. и др. U-Pb,  $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$  датирование и Sm-Nd, Pb-Pb изотопное исследование Калгутинской молибден-вольфрамовой рудно-магматической системы, Южный Алтай // Петрология. – 2006. – Т. 14. – № 1. – С. 90–108.
9. Дергачев В.Б. Новая разновидность онгонитов // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 302. – № 1. – С. 188–191.
10. Анникова И.Ю., Дергачев В.Б., Терехов В.Н. О взаимосвязи редкометалльных гранитов, онгонитов и оруденения в Калгутинском массиве (Горный Алтай) // Геологическое строение и полезные ископаемые западной части Алтае-Саянской складчатой области: Тез. докл. науч.-практ. конф. – Кемерово-Новокузнецк, 1999. – С. 220–222.
11. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Рихванов Л.П. и др. Благородные металлы в Калгутинском редкометалльном месторождении (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 5. – С. 36–42.

12. Potseluev A.A., Babkin D.I., Kotegov V.I. The Kalguty Complex Deposit, the Gorny Altai: Mineralogical and Geochemical Characteristics and Fluid Regime of Ore Formation // *Geology of Ore Deposits*. – 2006. – V. 48. – № 5. – P. 384–401 [in Russian].
13. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Акимцев В.А. Графиты Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) // *Доклады РАН*. – 2004. – Т. 399. – № 2. – С. 241–244.
14. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ / В.И. Ваганов, П.Ф. Иванкин, П.Н. Кропоткин и др. – М.: Недра, 1985. – 200 с.
15. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Выставной С.А. и др. Геолого-геофизическая модель формирования Калгутинской рудномагматической системы (Южный Алтай) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 38–42.
16. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // *Геология рудных месторождений*. – 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291–307.
17. Дашкевич Г.Э., Морцев Н.К., Боровиков А.А. Эксплозивные брекчии на Калгутинском месторождении (Горный Алтай) // *Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных комплексов юга Сибири*. – Новосибирск: Изд-во ОИГГМ СО РАН, 1991. – С. 44–49.
18. Степанов О.А. Взрывной механизм формирования структур центрального типа // *Советская геология*. – 1989. – № 12. – С. 95–104.
19. Поцелуев А.А., Бабкин Д.И., Котегов В.И. Состав и закономерности распределения газов в кварцах Калгутинского редкометалльного месторождения // *Известия Томского политехнического университета*. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 36–43.
20. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. – Киев: Наукова думка, 1974. – 991 с.
21. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // *Геология и геофизика*. – 1970. – № 12. – С. 3–13.

Поступила 20.11.2006 г.

УДК 552.5(571.51)

## ЛИТОГЕНЕЗ ВЕНД-КЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА БАЙКИТСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА ИРИНЧИМИНСКОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ 155 В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

Н.Ф. Столбова, О.В. Бетхер\*, Ю.В. Киселев, В.А. Кринин\*\*

Томский политехнический университет

E-mail: StolbovaNF@ign.tpu.ru

\*Томский государственный университет

\*\*ЗАО «Ванкорнефть», г. Красноярск

*Рассмотрены результаты изучения обстановок осадконакопления и последующих диагенетических, катагенетических и наложенных эпигенетических преобразований пород в разрезе. Проявление в разрезе эпигенетических изменений пород и распространение битумоидов указывают на перспективность территории на нефтегазоносность.*

Изучение литогенетических особенностей образования осадочных толщ необходимо для оценки перспектив нефтегазоносности исследуемой территории. Иринчиминская параметрическая скважина пробурена на площади Тохомской подзоны Тохомо-Оленчиминской фациальной зоны юго-западного склона Байкитской антеклизы Восточной Сибири и изучена с применением комплексной литолого-петрографической, минералого-геохимической и люминесцентно-микроскопической технологии [1]. Исследования выполнены в петролого-геохимической лаборатории Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета. Вскрытые скважиной отложения исследовались по образцам керна и шлама, отобраным соответственно, через 1...2 м и 5...10 м. КERN изучен в интервалах вскрытия *усольской* ( $V_{us}$ ) – 2347...2385 м, *тэтэрской* ( $V_{tt}$ ) – 2479...2500 м, *собинской* ( $V_{sb}$ ) – 2500...2530 м, *катангской* ( $V_{ktg}$ ) – 2567...2597 м, *колымовской* ( $V_{klm}$ ) – 2650...2672 м, *оморинской* ( $R_3-V_{om}$ ) – 2672...2809 м и *вельминской*

( $R_3-V_{vl}$ ) – 2837...2849 м свит. Шлам изучен из отложений *бельской* (инт. 1830...1902 м), *усольской* (1905...2460 м) и других свит из интервалов, по которым отбор керна не проводился.

Породы *вельминской* свиты (инт. 2809...2869 м) представлены красновато-коричневыми мелко-среднезернистыми слоистыми песчаниками. По составу это полевошпато-кварцевые граувакки со скоплениями слюдистых минералов по плоскостям наложения, с конформными структурами зерновых контактов с доломитовым, кварцевым и слюдисто-гидрослюдистыми цементами (рис. 1). Сортировка терригенного материала средняя. В составе обломков преобладают кварц, микроклин и калишпат-пертит, альбит, встречаются обломки кварцитов, вулканитов, слюдистых сланцев.

Среди песчаников отмечаются прослои бурых, красно-коричневых алевролитов, аргиллитов и их переходных разновидностей. Наклон прослоев 3...5°. Алевролиты и алевроаргиллиты преобладают в верхней части свиты.