

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЛОКАЛЬНЫХ РУДОНОСНЫХ ПАЛЕОГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ПРИМОРЬЯ)

Е. В. Горобейко¹, С. Л. Шевырев^{1,2}, В. В. Ивин¹

¹Дальневосточный геологический институт (ДВГИ ДВО РАН)

²Дальневосточный Федеральный университет (ДФУ), Владивосток

Поступила в редакцию 15 июля 2017 г.

Аннотация: анализом структурно-вещественных комплексов Березовского вулcano-тектонического сооружения и прилегающих территорий Кемской металлогенической зоны Восточно-Сихотэ-Алинского магматического пояса, на основе автоматизированной методики дистанционного зондирования Земли и с учетом результатов литогеохимического картирования, реконструируется инфраструктура местной палеогидротермальной системы. Линейные системы разрывов и кольцевые морфоструктуры различного генезиса в ряде случаев контролируют размещение проявлений благороднометалльного оруденения. По результатам комплексной интерпретации схем дешифрирования и геохимических ореолов рассеяния предложена гипотеза вероятного размещения каналов миграции рудоносных гидротерм и потенциальной перспективности исследованной площади. Полученный опыт можно использовать для прогноза рудоносности на участках, имеющих сходное строение.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, трещиноватость, геохимическая съемка, Сихотэ-Алинь, минерализация благородных металлов

REMOTE SENSING IN MAPPING OF ORE-BEARING SYSTEMS OF VOLCANIC BELTS (ON A SAMPLE OF NORTHERN PRIMORYE)

Annotation: analysis of the structural and material complexes of the Berezovsky volcano-tectonic structure and adjacent territories of the Kema metallogenic zone of the East Sikhote-Alin magmatic belt, based on the automated methodology for remote sensing of the Earth and with considering the results of litho-geochemical mapping, reconstructs the infrastructure of the local paleo-hydrothermal system. Linear discontinuity systems and ring morphostructures of different genesis in some cases control the placement of manifestations of noble metal mineralization. Based on the results of a comprehensive interpretation of the deciphering schemes and geochemical dispersion halos, a hypothesis was proposed of the probable location of the migration channels of ore-bearing fluids and the potential prospects of the area under study. The obtained experience can be used to predict ore content in areas with a similar structure.

Key words: remote sensing, fracturing, geochemical mapping, Sikhote-Alin, ore genesis of precious metals.

Введение

Золото-серебряные эпitherмальные жильные месторождения севера Приморья, относящиеся к Кемской металлогенической зоне, пространственно размещены в восточной части Восточно-Сихотэ-Алинского окраинно-континентального вулcano-плутонического пояса (ВСАВП), образования которого интродуцируют и перекрывают Кемский островодужный террейн. Решение прогнозно-поисковых задач на исследуемой территории осложняется ее труднопроходимостью, наличием мощного чехла элювиально-пролювиальных отложений и особенностями геологического строения. Последнее предопределено значительным перекрытием мезо-кайнозойских

вулcano-плутонических структур (ВПС), предполагаемых источников рудоносных флюидов, послерудным кайнозойским вулcanoгенно-осадочным чехлом. Эти обстоятельства существенно затрудняют, а иногда и исключают возможность проведения геохимических поисковых работ по вторичным ореолам.

Решение задач наращивания минерально-сырьевой базы таких территорий возможно выявлением долгоживущих ВПС, выраженных в виде кольцевых структур, выделенных с помощью компьютерной обработки космических фотоизображений (КФС), определением степени их эродированности и возможной реактивации, уточнением путей миграции флюидов и выявлением зон их сосредоточения.

Рассматриваемая территория характеризуется благороднометалльной минерагенической специализацией и наличием эпitherмальных золото-серебряных месторождений (Салют, Глухое, Приморское и др.). Для нее характерны: различная степень эродированности вулканогенно-осадочных накоплений, разнообразие генезиса и выраженности в КФС кольцевых структур, сложная разломная тектоника, развитый почти повсеместно почвенно-растительный покров. Это превращает территорию в своеобразный полигон для апробирования методов прогноза и поисков низкотемпературных гидротермальных скоплений рудного вещества, характерных для вулcano-плутонических поясов.

Целью исследования является проведение морфологического анализа структурных элементов космического изображения для уточнения значения распознаваемых тектонических нарушений и кольцевых структур различного генезиса в индикации миграции рудного вещества и зон его накопления на площади ВСАВПП. В качестве объекта изучения выбрана потенциально рудоносная Кузнецовская ВПС и ее обрамление.

Геологическая характеристика района исследований

Березовская ВПС находится в пределах Кемского

террейна ВСАВПП, в соответствие с принятой схемой его строения [1].

На территории Березовской ВПС выделена Кузнецовская рудная площадь, расположенная к востоку от эпitherмального золото-серебряного месторождения Салют, которое вмещает разнообразные (от основных до кислых, включая переходные разности) по составу вулканогенные образования позднего мела-неогена (рис. 1). Кузнецовская рудная площадь располагается в пределах зоны пересечения региональных разломов северо-восточного простирания с субширотными нарушениями второго порядка. На исследуемой площади распространены мел-палеогеновые вулканогенно-осадочные породы нижнего и неоген-четвертичные вулканогенные образования верхних структурных этажей.

Отсутствие перекрывающих образований неоген-четвертичного возраста в центральной и юго-восточной частях рудной площади позволяет судить о неравномерности эрозийного среза. В связи с этим, опыт изучения Кузнецовской площади предоставляет возможность непосредственного изучения и дистанционного опoисковывания тех вулcano-тектонических структур, которые севернее перекрываются более молодыми неоген-четвертичными вулканическими покровами, исключая возможность изучения вторичных ореолов.

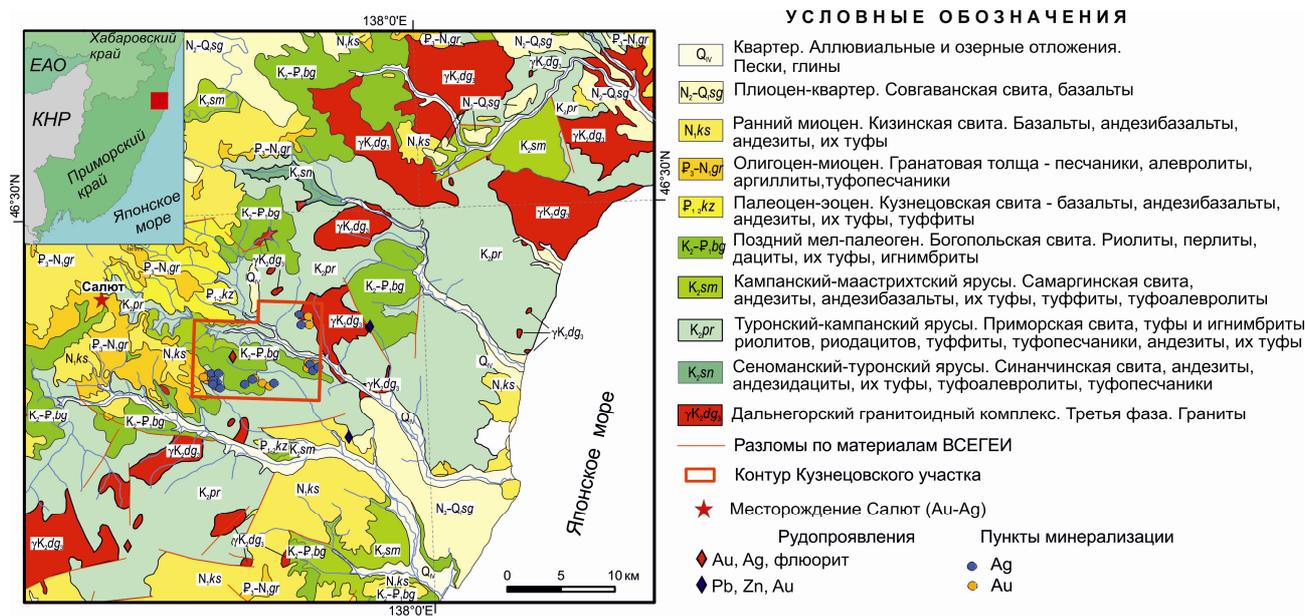


Рис. 1. Положение Кузнецовской эталонной площади на обзорной геологической карте территории исследования.

Методика исследования

В качестве исходных материалов использовались космозооизображения Landsat ETM (разрешение 30 м), а также данные литогеохимического исследования Кузнецовской рудной площади с прецизионной привязкой к сети GPS-координат. В ходе проведения исследований использовались программы, реализованные в среде Matlab – для выполнения расчета относительной проницаемости коры (патентованный метод [2]), автоматизированного дешифрирования

структурных элементов изображения (программное обеспечение LFE и CFE), ГИС QGIS – для географической привязки данных, спутниковых снимков северного Приморья и компоновки прогнозно-минерагенических схем. Применение программного обеспечения увязывалось с этапностью исследовательских работ (табл. 1).

Анализ спутниковых снимков позволил выделить линейные и кольцевые структуры изображения, отследить крупные разломы и региональную трещино-

Порядок выполнения комплексного прогнозного исследования

№	Наименование этапа исследования	Содержание работы	Результат
1	Анализ структурных характеристик	Дешифрирование элементов на дистанционной основе	Схема морфоструктур (линейных и кольцевых)
2	Анализ вещественных характеристик	Выявление закономерностей распределения химических элементов в ореолах рассеяния, оконтуривание геохимических аномалий	Построение гистограмм распределения химических элементов, карта аномалий и пунктов минерализации
3	Комплексирование структурных и вещественных данных	Сопоставление предполагаемых источников вещества, зон его накопления и путей миграции	Выявление перспективных зон, предлагаемых к опоскованию

ватость как вероятные пути распространения флюидов.

Для уточнения вклада нерегулярной трещиноватости, проявленной в рельефе, и выявления проницаемых зон, вычислялась фрактальная размерность. В результате проведенного анализа составлены схемы дешифрирования КФС: регулярных (линейных и кольцевых) структур (рис. 2) и фрактальной размерности Минковского (рис. 3). Первая фиксирует взаиморасположение структурных ансамблей площади, выявленных на дистанционной основе и ее вулканоплутонических комплексов. Вторая иллюстрирует относительную коровую проницаемость территории, местоположение возможных проводников рудоносных флюидов (в качестве которых выступают магматические комплексы) и предполагаемые генетические типы кольцевых структур.

Установление минерагенической специфики выявленных структурно-тектонических парагенезисов достигается анализом результатов литогеохимического опробования. Обнаружение геохимических аномалий и пунктов минерализации возможно на основе анализа статистических закономерностей распределения химических элементов. Для решения этой задачи использовался модуль Matlab StatisticTools. С помощью стандартных тестов *chi2gof* и *fidist* установлен логнормальный закон распределения элементов и рассчитаны параметры распределения (среднее и стандартное отклонение), использованные для выявления и картирования аномалий – ореолов рассеяния и пунктов минерализации, изображенных на геологической карте (см. рис. 1) и схемах дешифрирования (см. рис. 2, 3).

Обсуждение и результаты

Дешифрирование разломов производилось с помощью автоматизированного выявления коллинеарных линейных элементов в структуре изображения. Разломы первого и второго порядка оперяются нерегулярной трещиноватостью, для описания и количественного учета которой применялась фрактальная размерность Минковского. Интерпретация схемы результатов автоматизированного дешифрирования материалов ДЗЗ позволяет зафиксировать преобладание

в структуре опосковываемой территории разломов первого порядка северо-восточного простирания, кинематика которых, вероятно, соответствует левым сдвигам, широко распространенным в Сихотэ-Алинском складчатом сооружении. Иную ориентировку имеют ортогональные разломы второго порядка северо-западного простирания, соответствующие структурам сосдвигового растяжения [3, 4].

В качестве предполагаемых каналов поступления рудоносных флюидов интерес представляют кольцевые структуры (КС), распознаваемые с помощью кольцевого преобразования Хафа [5] и локализованные на пересечении региональных и ортогональных к ним разломов. В пределах Березовской ВПС выделяется несколько генераций КС, по степени выраженности, которые интерпретируются как кальдеры проседания, сильно эродированные вулканические аппараты или тектоно-магматические поднятия, перекрытые вулканогенно-осадочным чехлом ВСАВП (см. рис. 2). Среди дешифрированных КС, соответствующих эродированным вулканическим аппаратам, сосредоточено большинство гипабиссальных интрузий дальнегорского комплекса Кузнецовской площади.

Кальдеры проседания определяются по наличию систем дуговых трещин, а также особенностей морфоскульптурного рельефа, характерного для эродированных субвулканических магматических ассоциаций. Эродированные вулканические аппараты сложные лавами, туфолами, туфами и игнимбритами. В ряде случаев в центральных частях обнажаются гранитоидные массивы, соответствующие вскрытым эрозией магматическим очагам.

Комплексный анализ дистанционного изображения Кузнецовской площади и ее геохимических данных показал соответствие опосковываемой площади относительно крупной (диаметр 7 км) структуре Березовского палеовулкана, сопровождаемой на востоке-юго-востоке двумя КС меньшего размера (3–4 км). Характерна также размещенность КС на пересечении региональных разломов, выделенных по результатам дешифрирования.

Структуры, отмеченные на схеме интерпретации дистанционного изображения, сопоставлялись с по-

элементными картами площадного геохимического опробования Кузнецовской площади. Установлена приуроченность аномалий вторичных ореолов золота и серебра к дешифрированным кольцевым структурам и зонам максимальной коровой проницаемости (связанности трещин, выраженной фрактальной раз-

мерностью). На местности повышенные значения фрактальной размерности Минковского представляют собой зоны метасоматически измененных пород, находящихся на периферии или в пределах кольцевых структур (см. рис. 3).

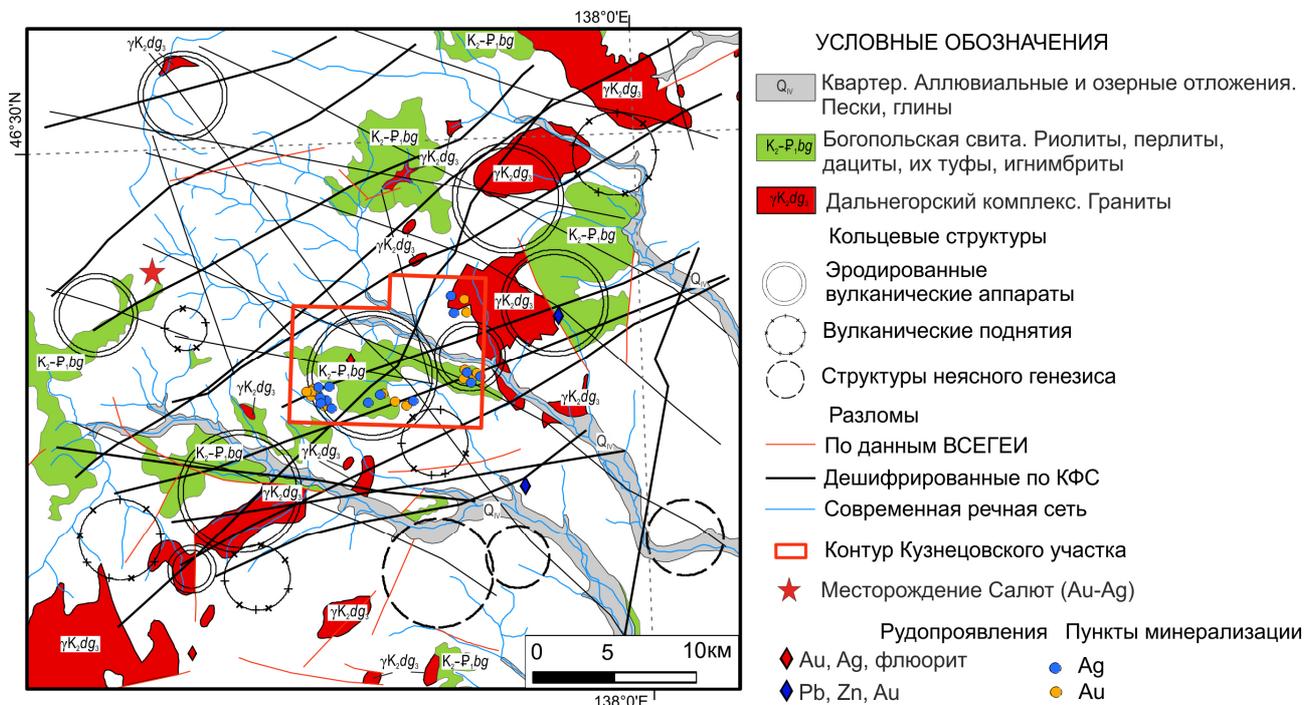


Рис. 2. Схема дешифрирования морфоструктур снимков Landsat ETM Кузнецовской площади и ее обрамления.

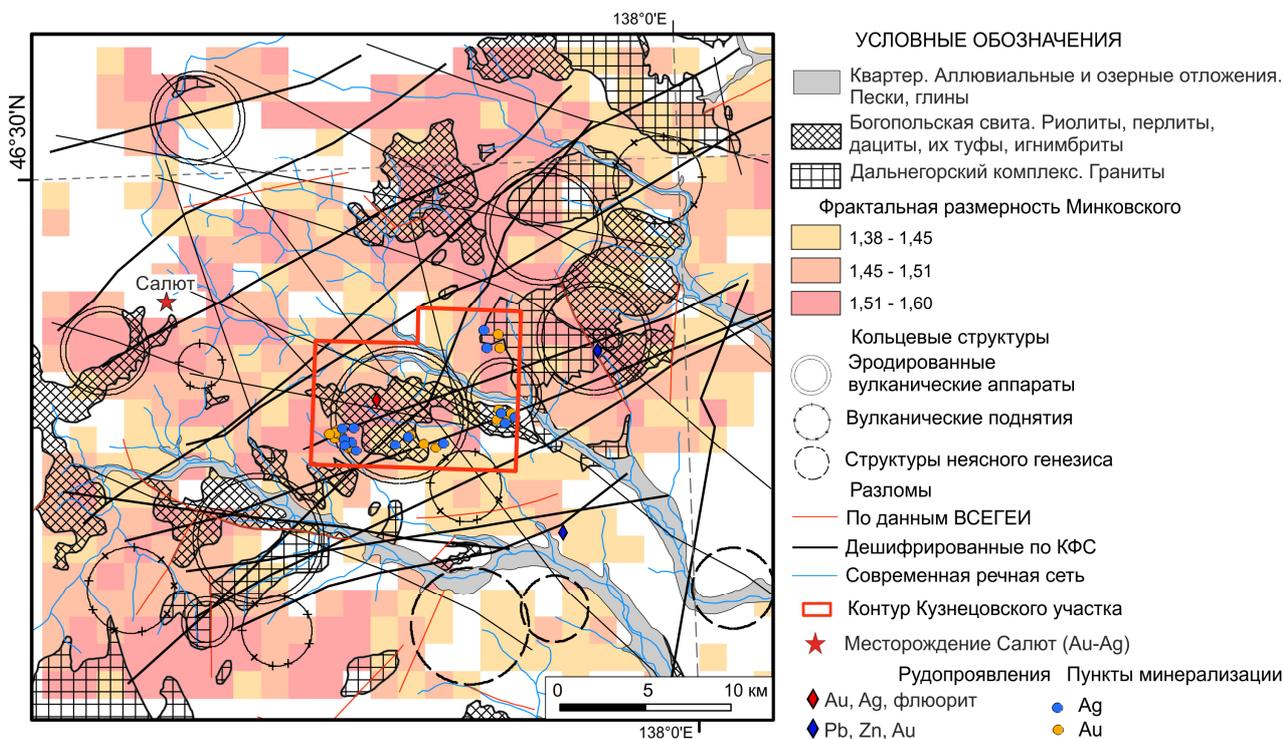


Рис. 3. Сопоставление морфоструктур и фрактальной размерности Минковского обрамления на Кузнецовской площади.

Выводы

Сопоставления материалов, полученных при изучении вторичных ореолов рассеяния с дистанционными данными, позволяют констатировать практическую применимость описываемой методологии для выявления зон, перспективных на обнаружение эпitherмальной минерализации, с учетом особенностей ВСАВПП.

Установлена взаимосвязь кольцевых структур с разломами и золото-серебряным оруденением. Кольцевая структура Березовского палеовулкана является по своему морфогенезису значительно эродированной вулканической постройкой, выполненной породами жерловых фаций мел-палеогеновой ассоциации, препаированной денудацией. Вмещающие субвулканическую ассоциацию богопольского возраста породы приморской свиты хорошо обнажены в пределах площади и дешифрируются на КФС Landsat в виде выраженного кольцевого объекта. Соответствие дешифрированных кольцевых структур вулканоплутоническим ассоциациям позволяет обоснованно судить о том, что они могут использоваться в качестве поискового признака для жильно-метасоматических эпitherмальных месторождений. На достоверность метода оказывает влияние наличие перекрывающих вулканогенных образований, делающих неэффективным применение поисковой геохимии. В этом случае, для обнаружения погребенных структур критическую роль может играть их повторная активизация, сформировавшая дешифрируемую на КФС нарушенность перекрывающих толщ.

Значимость Кузнецовской площади для изучения возможностей дистанционного прогноза определяет

мощный эрозионный срез, выраженный в обнаженности нижнего структурного этажа и эродированности вулканогенного чехла. Подтвержденная результативность описанной комплексной методологии может позволить включить ее в перечень работ для выявления площадей, перспективных на обнаружение эпitherмальных месторождений в северной части Сихотэ-Алиня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханчук, А. И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток. Дальнаука. – 2006. – С. 273–281.
2. Способ проведения прогнозно-поисковых работ месторождений полезных ископаемых на исследуемой площади. Пат. 2603856 Рос. Федерация: МПК G01V 9/00 / С. Л. Шевырев; заявитель и патентообладатель С. Л. Шевырев. – №2015125585128; заявл. 26.06.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. – 2016. – №34.
3. Уткин, В. П. Строение, геохронология и структурно-динамические условия вертикального развития Восточно-Сихотэ-Алинского магмо-металлогенического пояса / В. П. Уткин // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404. – № 5. – С. 659–663.
4. Шевырев, С. Л. Компьютерное моделирование формирования палеогидротермальной инфраструктуры по космическим данным (на примере Приморья) / С. Л. Шевырев, Г. А. Анциферова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2016. – №4. – С.116–119.
5. Шевырёв, С. Л. Алгоритмизация дистанционного анализа структурно-вещественных парагенезисов золоторудных районов (Многовершинное рудное поле, Хабаровский край) / С. Л. Шевырёв // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2017. – № 2. – С. 115–121.

Дальневосточный геологический институт
(ДВГИ ДВО РАН), Владивосток

Горобейко Екатерина Васильевна, аспирант
E-mail: chjurchjen@mail.ru

Шевырёв Сергей Леонидович, кандидат геолого-
минералогических наук, старший научный сотрудник,
доцент ДВФУ
E-mail: shevirev@mail.ru

Ивин Виталий Викторович, кандидат геолого-
минералогических наук, старший научный сотрудник
E-mail: ivin_vv@mail.ru

Far East Geological Institute,
Vladivostok

Gorobeyko E. V., Graduate Student
E-mail: chjurchjen@mail.ru

Shevyrev S. L., Candidate of Geological and Mineralogical
Sciences, senior researcher, associate professor of
Far Eastern Federal University
E-mail: shevirev@mail.ru

Ivin V. V., Candidate of Geological and Mineralogical
Sciences, senior researcher
E-mail: ivin_vv@mail.ru