

## СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МИНЕРАГЕНИЯ ПОЛЕЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НИЖНЕ-ТАЕЖНОГО Sn-Cu-Zn-Pb-Ag РУДНОГО УЗЛА (СЕВЕРНОЕ ПРИМОРЬЕ)

С. Л. Шевырев\* \*\*, В. В. Ивин\*\*, С. Б. Ярусова\*\*\*

\*Дальневосточный федеральный университет (ДФУ)

\*\*Дальневосточный Геологический Институт ДВО РАН

\*\*\*Института химии ДВО РАН, г. Владивосток

Поступила в редакцию 11 февраля 2015 г.

**Аннотация:** полевыми и дистанционными космическими исследованиями полей трещиноватости Нижнетаежного рудного узла устанавливается природа элементов дистанционного изображения и соответствие выделяемых по космическим данным продуктивных зон материалам полевых наблюдений.

**Ключевые слова:** прогноз оруденения, дистанционное зондирование, рудные узлы, оценка перспективности, Дальний Восток России.

### STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND MINERAGENCY OF NIZHNETAEZHNY Sn-Cu-Zn-Pb-Ag ORE CLUSTER'S FRACTURE FIELDS (NORTHERN PRIMORYE)

**Abstract:** field and space remote sensing research of Nizhnetaezhny ore node's fractured fields discovered nature of the space image elements and accordance between ore producing zones allocated form space with results of field observations.

**Key words:** ore prospecting, remote sensing, ore nodes, ore prospecting, Russian Far East.

#### Введение

Формирование существенной части месторождений как рудного, так и нерудного минерального сырья связано с активностью флюидов, рудоносных растворов, ответственных за транспортировку вещества и, в благоприятных условиях, формирующих промышленно значимые скопления [1, 2].

Развитие горнодобывающей и металлургической промышленности Приморья сдерживается ограниченностью региональной ресурсной базы цветных и редких металлов. Для повышения инвестиционной привлекательности региона актуальны современные прогнозные построения, способствующие увеличению перспектив отдельных площадей на Sn, Cu, Zn, Pb, Ag. В нынешних условиях сокращения объемов геологоразведочных работ усиливается роль незатратных методов прогноза, в т. ч. дистанционного зондирования.

Для выявления продуктивных зон требуется аналитически выделить черты гидротермальной системы в дистанционном изображении и рассчитать параметры, описывающие их характеристики. Кроме того, существует насущная необходимость связать различные масштабы наблюдений и осуществить переход от обзорного масштаба анализа космических данных к детальным наблюдениям в обнажениях и горных выработках.

В качестве средств дистанционного анализа ис-

пользуются: распознавание образов с помощью преобразования Хафа, а также анализ структуры палеогидротермальной системы с применением фрактальной размерности Минковского ( $D_m$ ).

#### Паттерны дистанционного изображения и рудоносность

Задачи прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых требуют понимания, описания закономерностей строения и площадного распространения элементов гидротермальной палеосистемы, в качестве которых выступают несплошности различного порядка.

Нарушения земной поверхности, выделяемые по космофотоснимкам (КФС), образуют характерный рисунок, называемый нами «паттерн дистанционного изображения». Ранее нами обосновывалась связь характеристик этого рисунка с рудонасыщенностью недр [2, 3]. Для определения перспективности территории в отношении наличия полезных ископаемых, связанных с миграцией гидротермальных растворов, следует учитывать также иные особенности трещин, образующих перколяционный кластер. Процессы инфльтрации гидротермальных растворов требуют, чтобы трещиноватые породы достигли порога протекания – минимально достаточного для последнего количества взаимосвязанных трещин. Совокупность связанных элементов носит название перколяционного

кластера [4].

Формирование в породе продуктивной палеогидротермальной системы требует наличия источников растворов рудного вещества. Одним из таких источников может выступать магматическое тело. Магматические тела различной природы (дайки, жерловые комплексы, лакколиты) могут быть дешифрованы на КФС в силу типичности образуемого ими рисунка. Предполагается, что участки трещинной системы, пространственно близкие к источникам рудного вещества, более перспективны.

Изучение трещин земной коры может выполняться на различных масштабах организации вещества, которые условно могут быть разделены на: «микро» (масштаб кристаллической структуры и ориентации минеральных зерен), «макро» (обнажений и локальных структур) и «мега» (масштаб структур, изучаемых на дистанционных снимках и по топооснове). Выделение последнего масштаба исследований является достаточно общим, размер изучаемых структур и уровень их генерализации определяется пространственным разрешением съемки.

Обзорный масштаб исследований («мега») является наиболее привлекательным по соотношению площади охватываемых территорий и доступности исходных данных. Методика, масштаб и сущность наблюдаемых объектов при проведении дистанционного космического и наземного маршрутного исследований существенно отличаются. Актуально проведение исследования, которое позволит выявить соответствие между структурными наблюдениями в обнажениях и прогнозными схемами, построенными на дистанционной основе.

Для выявления продуктивных зон требуется аналитически выделить черты гидротермальной системы в дистанционном изображении и рассчитать параметры, описывающие их характеристики. В качестве средств анализа используются: распознавание образов с помощью преобразования Хафа и выявление структуры палеогидротермальной системы с применением фрактальной размерности Минковского ( $D_m$ ). В качестве полигона для проведения такого исследования выступил Нижнетаежный рудный узел (НТРУ).

### Геологическое строение Нижнетаежного рудного узла

Нижнетаежный рудный узел (НТРУ) имеет площадь около 500 км<sup>2</sup> и расположен в Прибрежной зоне Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (бассейн р. Таежной), примерно в 25 км от побережья Японского моря. НТРУ обладает сложным геологическим строением [5], выражающимся в наличии сети дизъюнктивов, крупных магматических центров, потоков рассеяния, шлиховых и геохимических ореолов. В географическом отношении НТРУ представляет собой таежную, горно-долинную местность с относительным превышением водоразделов над тальвегами до 350 м. Местность является труднопроходимой и малообнаженной для проведения полевых наблюдений и существенно закрытой для дистанцион-

ных измерений. Этим территория обязана значительной облесенности, мощности элювиального и почвенно-растительного слоя.

В северной части Приморского края это наиболее крупный рудный узел. В строении рудного узла участвуют стратифицированные образования, принадлежащие двум структурным этажам. Нижний структурный этаж, являющийся терригенным основанием кемского террейна (*нижний мел*), дислоцирован в крутопадающие складки северо-восточного простирания. Верхний этаж представлен перекрывающимися вулканогенно-осадочными и сшивающими магматическими образованиями этого террейна. Их возрастной диапазон: верхний мел – палеоген. Они включают эффузивно-пирокластические накопления богопольской (*маастрих-дат*), самаргинской (*маастрихт*) и приморской (*турон-кампан*) толщ.

На территории собственно рудного узла и прилегающей площади описаны три кальдеры проседания (Носыревская, Тальниковая и Шандийская), а также вулканокупольные поднятия (Белебинское и Монскинское).

В пределах НТРУ наиболее крупные интрузивные и субвулканические тела относятся к самаргинскому и богопольскому вулканоплутоническим комплексам, залегающим среди ороговикованных пород одноименных толщ. Эти комплексы совместно с более молодыми образованиями слагают локальные очаговые структуры интрузивно-купольного типа. Сложность строения интрузивных тел обуславливается многофазностью их внедрения. Наиболее ранние фазы Малиновского массива (см. рис. 1) сложены преимущественно самаргинскими диоритоидами. В петрографическом составе среди них преобладают мелкозернистые и крупнозернистые биотит-роговообманковые кварцевые диориты. Биотитовые порфиroidные граниты, переходящие в краевых частях массива в гранит-порфиры, вероятно, относятся к богопольскому ВПК [6]. Субвулканические тела последнего представлены крупнопорфировыми риолитами, местами переходящими в гранит-порфиры и кислые кластолавы. Кроме того, в пределах богопольского ВПК представлены неки дацитов и трахидацитов, иногда переходящих в андезидациты, риодациты и риолиты туфовидного облика. Об эксплозивном характере извержений свидетельствуют присутствующие эксплозивные брекчии. Более молодые, кизинские образования, сложены мелко- и неяснопорфировыми, миндалекаменными, разностями роговообманково-плагноклазовых андезитов, андезибазальтов и базальтов. Кизинские магматиты отличаются шаровой отдельностью, значительной степенью вторичных изменений и повышенной щелочностью.

На территории НТРУ закартированы разрывные нарушения, обнаруживаемые в поле и выявляемые на дистанционных изображениях. Для таких структур первого порядка характерно северо-восточное простирание. Главными являются Дальнегорский и Секунжинский разломы. С ними сопряжены разрывы северо-западного и субширотного направлений, являющиеся оперяющимися (Таежный разлом).

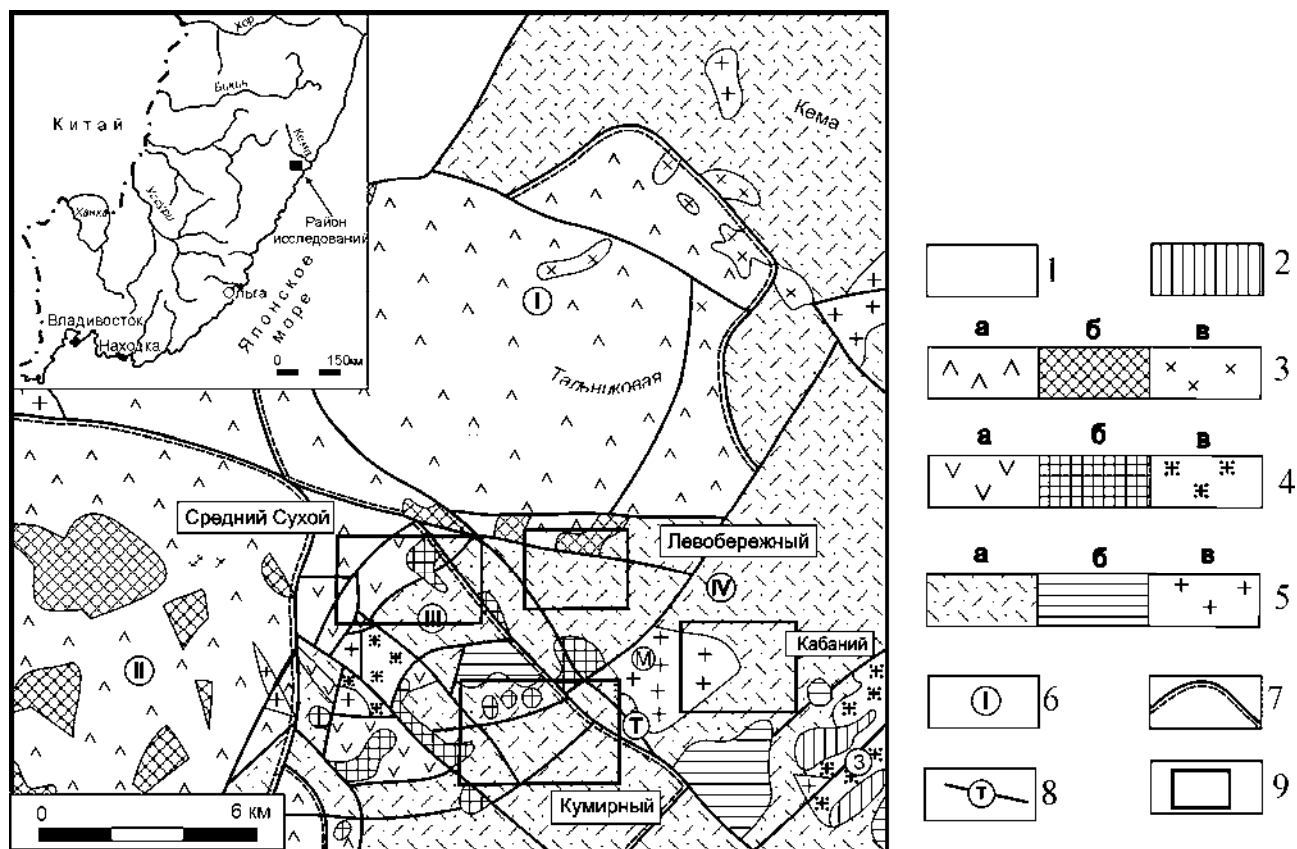


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Нижне-Таежного рудного узла. Условные обозначения: 1 – нижнемеловые терригенные отложения складчатого основания (фундамента) Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса; 2-5 – вулканические и вулканоплутонические комплексы: 2 – кизинский миоценовый вулканический комплекс (субвулканические тела дацитов и андези-дацитов); 3 – богопольский маастрихт-датский: а – игнимбриты и туфы риолитов; б – экструзии и некки дацитов, в меньшей степени – экструзии андезитов и риолитов; с – гранитоиды богопольской серии; 4 – самаргинский ранне-маастрихтский: а – туфы дацитов и риодацитов, в меньшей мере – андезиты, туфы андезитов и риолитов; б – экструзии, некки и дайкообразные тела андезитов и андези-дацитов; с – гранитоиды самаргинской серии, в т.ч. 3 – массив Заводской; 5 – приморский турон-кампанский: а – туфы риолитов с прослоями игнимбритов, туффитов, туфоалевролитов и туфопесчаников; б – экструзии и некки риолитов; с – гранитоиды приморской серии, в т.ч. М - Малиновский массив; б – крупные вулканотектонические структуры: I – Тальниковая; II – Шандуйская; III – Носыревская; IV – Монкинское поднятие; 7-8 – разломы: 7 – ограничивающие кальдеры; 8 – прочие, в том числе: Т – Таежная зона разрывов; 9 – контуры главных рудоносных площадей.

Главной рудоконтролирующей структурой НТРУ является Таежная тектоническая зона, которая прослеживается в северо-западном направлении вдоль р. Таежной в верховья р. Колумбе. Зона представлена разрывами северо-западного и субширотного направления различной протяженности, наиболее значительные из которых прослеживаются по правобережью р. Таежной. Этими разрывами контролируется размещение субвулканических даек, тел и минерализованных зон.

Поисково-съёмочными работами на территории НТРУ выделены несколько комплексных геохимических аномалий по потокам рассеяния серебра, свинца, цинка, олова, меди, в меньшей степени мышьяка (Каменистая, Основная, Левобережная, Контрастная и др.). На площади этих аномалий выделены рудоносные поля – участки (Кумирный, Левобережный, Кабаний), в пределах которых, в свою очередь, фиксируются рудные зоны (более 30).

Геолого-поисковые работы позволили локализовать жильно-прожилковые зоны вблизи Малиновской интрузии и интродуировавших ее штоков самаргин-

ских диоритов среди ороговикованных вулканитов нижней пачки ( $K_2rg_1$ ) приморской толщи (Белембинская, Бортовая, Русловая и др.). Мощность рудных зон составляет 10–20 м, протяженность 1,5 км и более. Они состоят из сложноветвящихся крутопадающих сереброносных и кварц-сульфидных жил, сопровождаемых прожилково-вкрапленной минерализацией. В пределах участков Нижнетаежного рудного узла известны олово-медь-цинк-свинец-серебряный (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag), цинк-свинец-серебряный (Zn-Pb-Ag) и серебряный (Ag) типы оруденения. В минерагеническом отношении первый является касситерит-халькопирит-сфалерит-галенит-акантитовым, второй – сфалерит-галенит-акантитовым, третий – акантит-пираргирит-полибазитовым (рис. 2). Ориентировка рудных тел преимущественно северо-западная (реже – субширотная, субмеридиональная, изредка – северо-восточная).

Предполагается, что замеры ориентировок простиранья рудоносных жил рудных зон является структурным признаком, сопоставляемым с замерах простиранья осей перспективных кластеров, пронизае-

мых для гидротермальных растворов и выделяемых по КФС. Соотнесением рудных зон может быть верифицирована правильность выделения кластеров проциаемых элементов изображения, характеризующихся нами как перспективные.

	Индекс	Мощность, м	Кабаний	Кумирный	Средний Сухой	Лево-Бережный
Богопольский	P <sub>1</sub> bg <sub>3</sub>	500				
	P <sub>1</sub> bg <sub>2</sub>	225-650			●	◆
	P <sub>1</sub> bg <sub>1</sub>	225-250				
Самаринский	K <sub>2</sub> sm	500			◆ □	
Приморский	K <sub>2</sub> pr <sub>3</sub>	440		● □		□
	K <sub>2</sub> pr <sub>2</sub>	259-400	● □			
	K <sub>2</sub> pr <sub>1</sub>	250	● □	◆ □		□

Типы оруденения ● Ag □ Zn-Pb-Ag ◆ Sn-Cu-Zn-Pb-Ag

Рис. 2. Схема размещения разных типов оруденения среди толщ НТРУ.

**Методика исследований прогнозной рудоносности**

С целью оценки перспективности прогноза на территории Нижнетаежного рудного узла проводился анализ полей трещиноватости – проводящих структур

для гидротермальных растворов и выявление изометричных структур – источников последних.

Автоматизированное выделение изометрических (кольцевых) структур – ключ для определения положения и автоматизированного учета тектономагматических поднятий, центров эксплозивного магматизма, являющихся вероятными источниками гидротермального вещества. Исследование транспортной инфраструктуры гидротермальной системы производится выявлением на дистанционной основе препарированного денудацией рисунка трещиноватости и распознавание его паттернов с учетом фрактальной размерности.

Применение автоматизированных методик дешифрирования изображений, основанных на преобразовании Хафа [7], наделяет исследователя методологическим аппаратом распознавания структурных элементов изображения. Для распознавания кольцевых элементов космическое изображение предварительно отфильтровывалось с получением градиентного рисунка, вычислением степени контрастности градиента и обнаружением его локальных максимумов, соответствующих границам [8]. Данные действия полностью автоматизированы (рис. 3). Выделенные кольцевые структуры рассматривались в зависимости от степени их выраженности и крупности. Было установлено их соответствие наиболее значимым структурным элементам НТРУ: Носыревской и Шандийской кальдерам проседания, а также Малиновскому интрузивному массиву (рис. 4а).

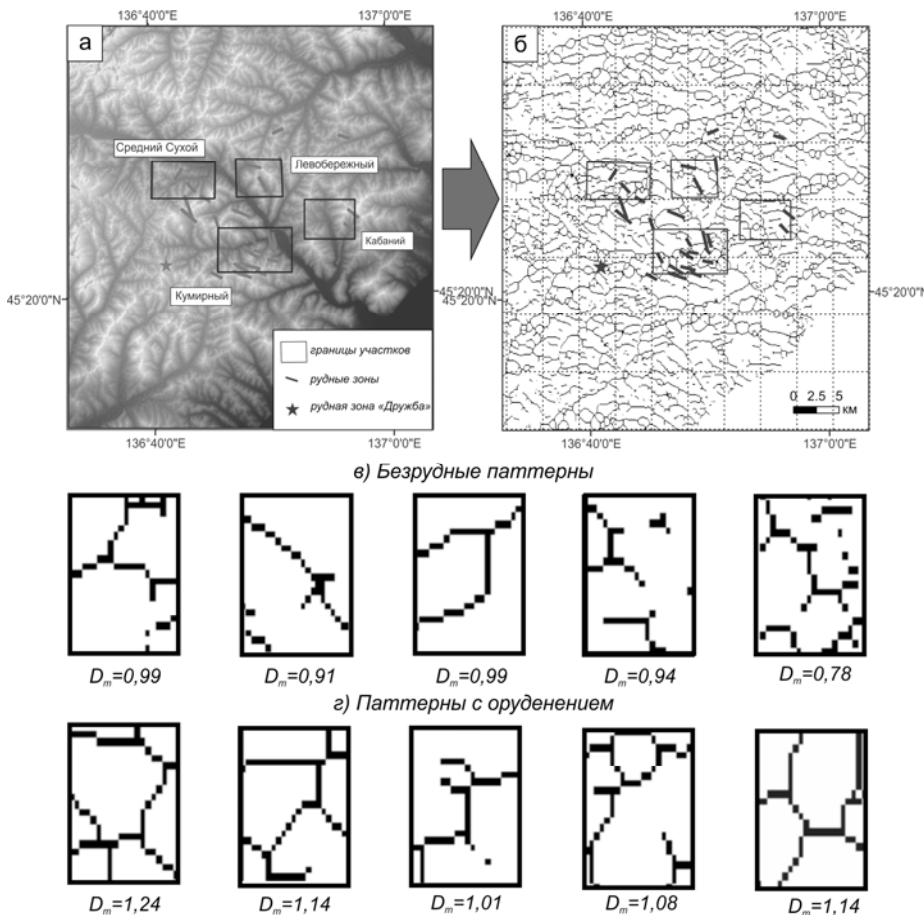


Рис. 3. Методика анализа паттернов дистанционного изображения Нижнетаежного рудного узла. Условные обозначения: а – исходная ЦМР SRTM; б – преобразованное изображение; паттерны ( $S=4 \text{ км}^2$ ): в – безрудные (в их пределах уменьшена вероятность обнаружения рудных объектов), г – наблюдаемые на площадях развития рудоносных зон.

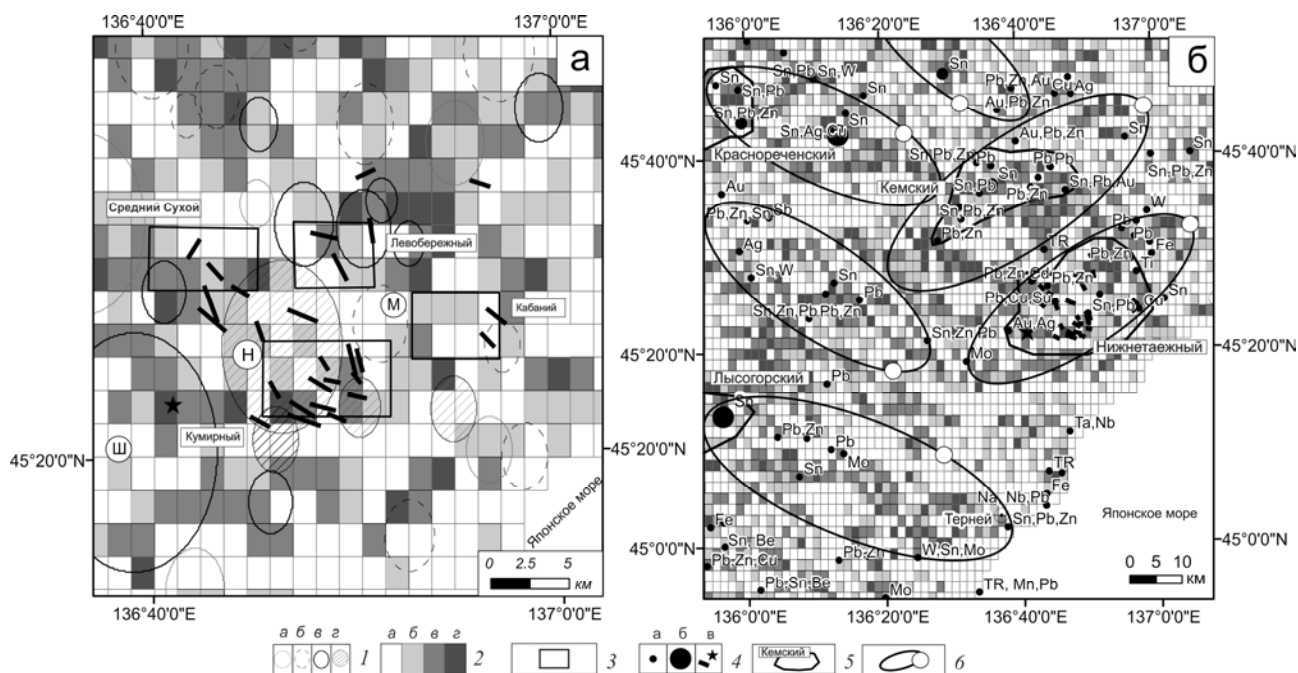


Рис. 4. Прогнозная схема территории Нижнетаежного рудного узла, построена по результатам автоматизированной оценки ЦМР SRTM (а) и схема прогнозной перспективности территории, прилегающей к НТРУ (территория Кемского и Таухинского террейнов). Условные обозначения: 1 – кольцевые структуры (степень выраженности): а – наименее выраженные, г – наиболее выраженные; 2 – паттерны дистанционного изображения (а – «непроницаемые», б – «малопроницаемые», в – «проницаемые», г – «высокопроницаемые»); 3 – участки НТРУ; 4 – рудные объекты (вид сырья показан латиницей): немасштабные (а – рудопроявления, б – месторождения), в – рудные жилы НТРУ, звездочка – зона «Дружба»; 5 – рудные узлы и их наименования; 6 – кластеры проницаемых паттернов. Кольцевые структуры (буквы в кружках): Ш – Шандуйская, Н – Носыревская, М – Малиновская.

Для разбиения структурного рисунка территории на паттерны «безрудные» и «с оруденением» окна покрытия, в пределах которых рассчитывалась фрактальная размерность Минковского, классифицировались с применением алгоритма естественных границ Дженкса. Эта классификация достаточно эффективна, поскольку в каждом классе минимизируется стандартное отклонение членов класса и его среднего значения, при этом отклонение между разными классами максимизируется.

Число классов при выполнении анализа подбирается экспериментально (5–6 классов). При этом происходит группировка окон покрытия в кластеры, характеризующиеся повышенными и пониженными значениями фрактальной размерности Минковского ( $D_m$ ). Значения нескольких классов, показавших пониженные значения ( $D_m < 1.01$ ), рассматривались как неперспективные и устранялись из дальнейшего анализа. Из рисунка видно, что паттерны преобразованного изображения с оруденением, характеризуются большим количеством скелетных элементов (черный цвет) и лучшей их «связностью» (см. рис. 3б).

При выделении кластеров перспективных, проницаемых паттернов дистанционного изображения использовалась среда научных и инженерных расчетов Matlab. Покрытие паттернов различной проницаемости анализировалась с помощью функции *regionprops*. Этот инструмент способен анализировать бинарное изображение, выделяя связанные элементы – кластеры. Помимо массива кластеров, функцией вычисля-

ются также координаты центров эллипсов, описавших кластеры, их ориентация, длины осей и некоторые другие. Для усиления контраста кластеров предварительно использовалась функция *bwmorph*, вызываемая с параметром «*skel*» (рис. 5).

Массив ориентировок длинных осей кластеров в дальнейшем использовался для сопоставления с полевыми замерами рудонасыщенных трещин. При этом, принималось в расчет, что элементы, отвечающие трещиноватости, выделяемые на дистанционной основе, не могут соответствовать трещинам, наблюдаемым в обнажениях и наоборот, но соответствуют их проницаемым зонам. Различные ориентировки трещин, заполненных теми или иными минералами, вероятно, отражают этапность активизации рудопродящих каналов проницаемых зон, а также кинематику тектонических процессов, приведших к формированию таких зон.

### Паттерны трещиноватости НТРУ и их рудонасыщенность

Для рудных зон НТРУ были выполнены маршрутные замеры элементов залегания трещин и прожилков с оруденением, специализированных на указанные выше типы оруденения (всего выполнено 700 замеров). На основе этого составлены розыдиаграммы, отразившие распределение географических азимутов кластеров и рудоносных трещин, выполнено сопоставление с ориентировками проницаемых паттернов, выделенных по КФС (рис. 6).

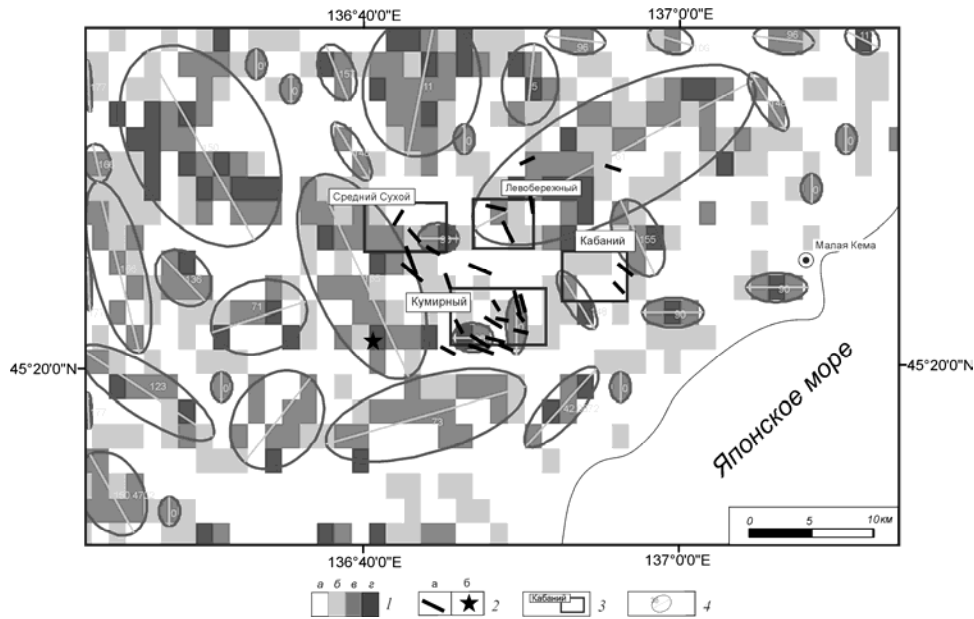
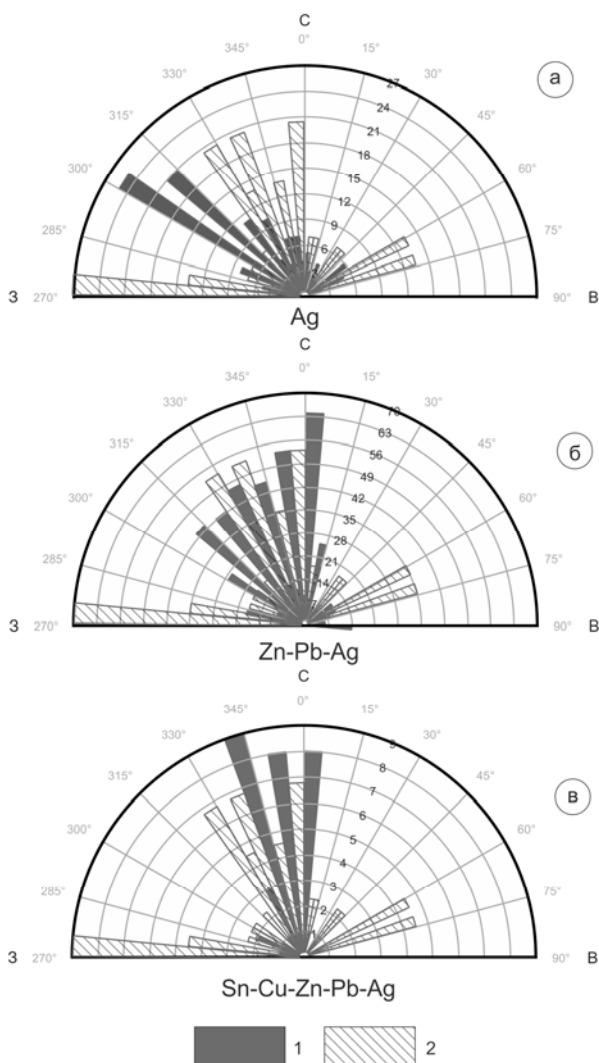


Рис. 5. Кластеры перспективных паттернов дистанционного изображения НТРУ и их азимуты. Условные обозначения: 1 – паттерны дистанционного изображения (а – «непроницаемые», б – «малопроницаемые», в – «проницаемые», з – «высокопроницаемые»); 2 – рудные объекты: а – рудные жилы, б – зона «Дружба»; 3 – участки НТРУ; 4 – эллипсы, описывающие кластеры паттернов, их длинные оси и азимуты простирания.



Визуальный анализ роз-диаграмм показывает, что направления длинных осей проницаемых зон – кластеров в общем соответствуют основным тектоническим структурам региона (СЗ и СВ), кроме того имеются субширотные ориентировки. К этим проницаемым зонам также приурочены интрузии, парагенетически связанные с месторождениями полезных ископаемых. Серебряная минерализация проявлена на всей площади НТРУ (за исключением участка “Средний Сухой”) и отражена на розе-диаграмме (см. рис. 6 а). Розы-диаграммы могут свидетельствовать о наложенности серебряной минерализации НТРУ, так как нет строго соответствия рудных зон СЗ направления с кластерами. На описываемой территории такая минерализация наиболее характерна для участка “Кумирный”. Цинк-свинец-серебряный (Zn-Pb-Ag) и олово-медь-цинк-свинец-серебряный (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag) типы минерализации, трещины которых имеют как субмеридиональную, так и северо-северо-западную ориентировку вполне совпадают с ориентировкой проницаемых кластеров КФС (рис. 6 б, в). Направленность лучей роз-диаграмм трещин демонстрирует сходство с направленностью кластеров рудных зон и, вероятно, отражает этапность отложения рудного вещества.

Таким образом, можно говорить о существенном структурном соответствии между описываемыми по материалам КФС «перспективными» кластерами и рудными объектами, наблюдаемыми в поле.

Рис. 6. Сопоставление ориентировок оруденелых трещин и прожилков, измеренных в поле (1) и проницаемых кластеров НТРУ по материалам космических съемок (2), азимуты географические. Минерализация: а – серебряная (Ag); б – цинк-свинец-серебряная (Zn-Pb-Ag); в – олово-медь-цинк-свинец-серебряная (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag).

## Выводы

Для повышения инвестиционной привлекательности регионов актуальным является увеличение объемов их прогнозных ресурсов. В условиях уменьшения расходов на геологоразведочные работы усиливается роль дистанционных методов, в том числе основанных на применении материалов космических съемок Земли.

При оценке полей трещиноватости, образующих перколяционную среду для гидротермальных растворов, эффективными и зарекомендовавшими себя являются методы оценки направлений трещин горных пород и подсчет их фрактальной размерности как меры связности несплошностей.

Правомерность выделения перспективных паттернов дистанционного изображения на основе связности структурных элементов нуждается во всесторонней проверке, причем не только в отношении территориальной приуроченности рудных объектов, но и структурной близости. Установленное соответствие преимущественных направлений трещин и кластеров проницаемых зон на разных масштабах исследования («макро» и «мега») расширяет перспективы применения дистанционных методов в прогнозировании гидротермальных месторождений Дальнего Востока России.

Дальневосточный Федеральный Университет (ДФУ)

Шевырев Сергей Леонидович, к.г.-м.н., доцент ДФУ, научный сотрудник ДВГИ ДВО РАН  
E-mail: shevirev@mail.ru

Дальневосточный геологический институт (ДВГИ) ДВО РАН

Ивин Виталий Викторович, к.г.-м.н., научный сотрудник лаборатории минерагении благородных металлов  
E-mail: ivin\_vv@mail.ru

Институт химии ДВО РАН

Ярусова Софья Борисовна, к.х.н., н. с., лаборатория защитных покрытий и морской коррозии; руководитель Межведомственного научно-образовательного центра «Перспективные технологии и материалы», ВГУЭС

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шевырев, С. Л. Полезные ископаемые зон тектонической активизации южной части Воронежской антеклизы / С. Л. Шевырев, А. Д. Савко // Труды НИИ геологии ВГУ. – 2011. – Т. 62. – С. 1–104.
2. Борискина, Н. Г. Имидж рудоносных площадей Юго-Восточного Приморья по материалам дистанционного зондирования / Н. Г. Борискина, С. Л. Шевырев, В. Г. Хомич // Разведка и охрана недр, 2014. – № 6. – С. 30–35.
3. Шевырев, С. Л. Выявление инфраструктурных элементов рудно-магматических систем Приморья по материалам космического зондирования / С. Л. Шевырев, В. Г. Хомич // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – № 2. – С. 118–128.
4. Тарасевич, Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: учебное пособие / Ю. Ю. Тарасевич. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
5. Ивин, В. В. Геологическое строение и типы эндогенной минерализации Нижнетаежного рудного узла (Приморье) / В. В. Ивин, А. Н. Родионов, В. Г. Хомич, Л. Ф. Симаненко, Н. Г. Борискина // Тихоокеанская геология, 2006. – Т. 25. – № 3. – С. 81–87.
6. Хомич, В. Г. Новые определения возраста (К-Аг метод) интрузивных образований Нижнетаежного рудного узла (Северное Приморье) / В. Г. Хомич, В. В. Ивин, Н. Г. Борискина // Вестник ТГУ. – 2010. – № 331. – С. 214–218.
7. Hough Transform [Электронный ресурс]: OpenCV 2.4.8.0 documentation. URL: [http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough\\_lines/hough\\_lines.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html) (Дата обращения: 23.03.2014).
8. Jianbo Shi Computer vision [Электронный ресурс]: Penn Engineering. School of engineering and applied science. URL: <http://www.seas.upenn.edu/~cse399b/Lectures/CSE399b-04-edge.pdf> (Дата обращения: 23.03.2014).

Far Eastern Federal University (FEFU)

Shevirev Sergey Leonidovich, PhD, associate professor FEFU, researcher FEGI FEB RAS  
E-mail: shevirev@mail.ru

Far Eastern Geological Institute (FEGI) FEB RAS

Ivin Vitaliy Victorovich, Phd, researcher, laboratory of precious metals minerageny FEGI FEB RAS  
E-mail: ivin\_vv@mail.ru

Institute of Chemistry, Far East Branch

Yarusova Sof'ya Borisovna, PhD, researcher, laboratory protective coatings and marine corrosion; Head of the Interdepartmental Scientific-Educational Center "Perspective Technologies and Materials", VSUES