

ВЫЯВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИМОРЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С. Л. Шевырев, В. Г. Хомич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Дальневосточный геологический институт», ДВГИ ДВО РАН, Владивосток

Поступила в редакцию 30 августа 2013 г.

Аннотация. Исследованиями полей тектонической нарушенности по космическим снимкам выделены разрывные нарушения, рассматриваемые в качестве инфраструктуры продуктивных гидротермальных палеосистем Арминского, Дальнегорского, Кавалеровского, Кемского, Фурмановского рудных районов, принадлежащих южному звену Восточно-Сихотэ-Алинского магма-металлогенического пояса (ВСАММП). Выявлены пространственные отношения между рудоносностью и инфраструктурными элементами гидротермальных палеосистем. Рассмотрены методические аспекты выявления инфраструктурных элементов на дистанционной основе.

Ключевые слова: поля тектонической нарушенности, гидротермальные палеосистемы, дистанционные материалы, прогноз рудоносности.

Abstract. Satellite researches of tectonic disturbance fields let us identify faults, that are considered like infrastructure of productive hydrothermal paleosystems of Arminsky, Dalnegorsky, Kavalerovsky, Kemsky and Furmanovsky ore districts of the East Sikhote-Alin magmatic metallogenic belt (VSAMMP). The spatial relationships between the hydrothermal ore-bearing and infrastructure elements of paleosystems. Methodical aspects of infrastructure components identification on a remote images are done.

Key words: fields of tectonic disturbance, hydrothermal paleosystems, remote materials, prediction of ore content

Введение

Применение дистанционных методик в науках о Земле может являться перспективным незатратным способом получения сведений о геологическом строении, тектонике, динамике и направленности современных поверхностных процессов территорий. Получение информации такого рода способствует оценке потенциальной перспективности площадей различные виды полезных ископаемых или выделению конкретных обстановок, благоприятных для обнаружения минеральных проявлений. Предметом дистанционного исследования является выявление на соответствующей основе признаков, которые могут указывать на наличие полезного ископаемого. Важным условием является регулярность как наличия, так и выявления этих признаков.

Целью наших исследований была проверка возможностей качественного прогнозирования рудоносности потенциально перспективных площадей южного звена ВСАММП на основе специального дешифрирования материалов дистанционных космических изображений.

Для отработки методики нами были выбраны наиболее изученные рудные районы юго-восточного Приморья: Арминский, Дальнегорский, Кавалеровский, Кемский, Фурмановский.

Структурно-вещественные особенности Юго-Восточного Приморья и его рудных районов

Согласно представлениям [1, 2] в строении Юго-Восточного Приморья участвуют юрско-меловые тектоно-седиментационные комплексы Сихотэ-Алинского орогенного пояса (САОП), несогласно перекрытые чехлом из мел-палеогеновых эффузивно-пирокластических накоплений Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогена. Терригенное основание последнего формировалось под влиянием процессов субдукции и скольжения в мезозоне взаимодействия Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит. В объеме САОП (рис. 1) выделяют (с запада на восток) несколько разнотипных и разновозрастных террейнов [3]: аккреционный Самаркинский (юра), турбидитовый Журавлевский (юра-ранний мел), аккреционный Таухинский (неоком) и островодужный Кемский (баррем-альб). Характеристика перечисленных террейнов содержится в многочисленных публикациях

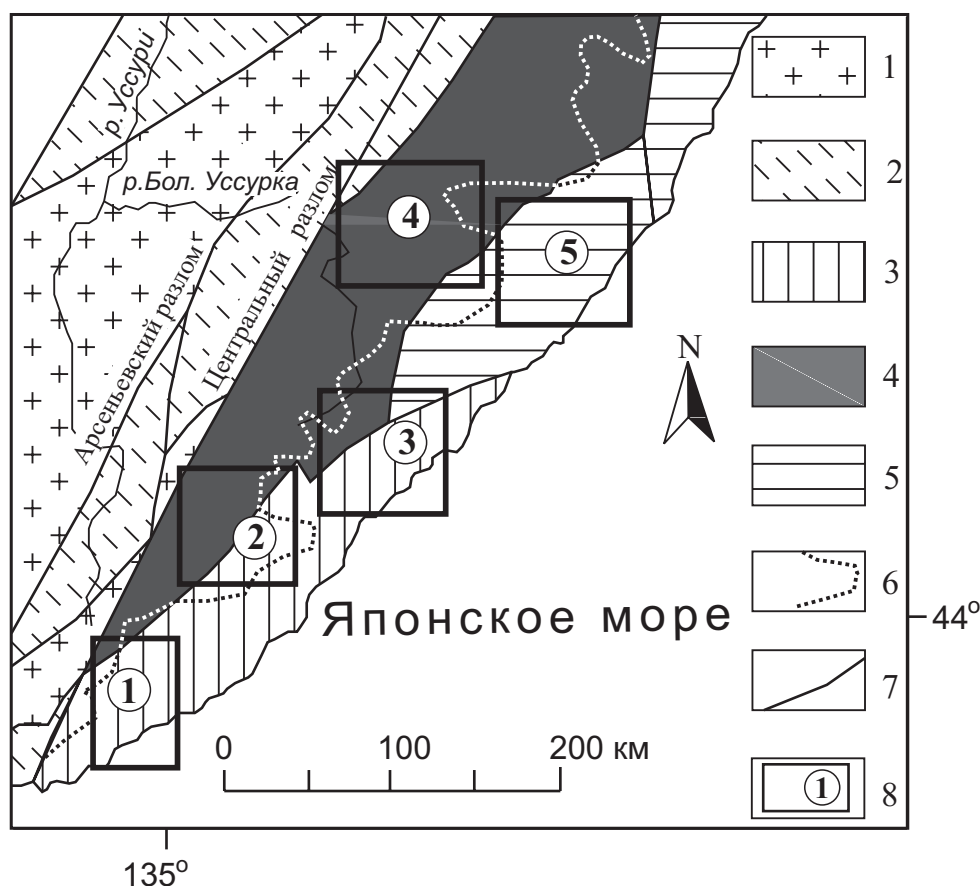


Рис. 1. Схема размещения рудных районов на Юго-Востоке Приморья. 1–5 – террейны: 1 – домезозойские (Ханкайский и Сергеевский), 2–5 – позднемезозойские: 2 – юрский (Самаркинский) и 3 – раннемеловой (Таухинский) аккреционные, 4 – раннемеловой (Журавлевский) турбидитовый, 5 – раннемеловой (Кемский) островодужный; 6 – западная граница Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (ВСАВП); 7 – крупные разломы; 8 – условные контуры рудных районов. Цифрами в кружках обозначены районы: Фурмановский (1), Кавалеровский (2), Дальнегорский (3), Арминский (4), Кемский (5)

В.В. Голозубова, И.В. Кемкина, А.И. Малиновского, В.В. Раткина, В.П. Симаненко, других сотрудников ДВГИ ДВО РАН, а также монографии [1].

Становление континентальной коры в регионе, связанное с процессами субдукции и аккреции, фиксируется формированием двух специфических плутонических комплексов (хунгарийского, готерив-альбского и татибинского, апт-сеноманского), причисляемых по петрогеохимическим характеристикам к S и A генетическим типам гранитоидов [4].

Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс (ВСАВП), перекрывающий значительную часть площади САОП, считается надсубдукционным [2]. Время его формирования приходится на поздний мел-палеоген. В нем выделяются эффузивно-пирокластические и вулканогенно-осадоч-

ные толщи, принадлежащие полно-, неполно- и контрастнодифференцированной сериям, в каждой из которых разрез начинается молассоидными отложениями, сменяется средне-основными вулканитами, которые в свою очередь перекрываются эффузивно-пирокластическими накоплениями кислого состава [5].

Интрузивные образования, комагматичные вулканическим накоплениям перечисленных серий, группируются в несколько комплексов, таких как приморский и угловский (турон-сантон), дальнегорский, самаргинский и якутинский (мастрихт-даньей), богопольский, сияновский и малых интрузий (палеоцен-эоцен). По петрогеохимическим характеристикам их причисляют к S и I типам [6].

Поперечная зональность ВСАВП выражается в смене (от побережья Японского моря) внутренней вулканической зоны внешней вулканоплутонической, а затем и периферической, преимущественно интрузивной.

Для пояса доказано синхронное развитие магматизма и оруденения, обусловившее его название «магма-металлогенический» [7]. Металлогенические зоны пояса в конформны террейнам, поскольку природа последних во многом предопределила специализацию первых [2]. С запада на восток последовательно сменяется порфиоровое медно-молибденовое ($\pm Au, Ag$), молибденовое ($\pm W, Sn, V_i$), а также вольфрамовое ($\pm Mo, \pm Be$) оруденение Самаркинской зоны, оловоносным ($\pm W$) оруденением с месторождениями Sn порфиоровой, сульфидной, силикатной и кварцевой формаций Журавлевской (Главной оловоносной) зоны и, наконец, полиметаллическими, боросиликатными, касситерит-сульфидными и золото-серебряными, сурьмяными и флюоритовыми месторождениями Таухинской зоны [1].

Площадь ВСАММП характеризуется интенсивной тектонической нарушенностью. Здесь закартированы крупные магмоконтролирующие разломы сдвиговой природы протяженностью многие десятки и сотни км: Арсеньевский, Централно-Сихотэ-Алинский, Прибрежный и многие другие. Их активностью в поздней юре и раннем мелу обусловлено формирование напряженной складчатости среди толщ САОП с характерной северо-восточной ориентировкой осевых плоскостей складок и отдельных разломов – под острыми углами относительно левосдвиговых перемещений блоков по системам вышеперечисленных линеаментов корово-мантийного заложения. Движения по этим же разломам привели к возникновению поперечных структур растяжения, послуживших каналами для флюидно-магматических инъекций.

По степени концентрации проявлений оруденения на площади вышеперечисленных террейнов выделяют Арминский, Дальнегорский, Кавалеровский, Кемский и Фурмановский районы.

В Арминском районе размещены крупные месторождения W и Sn (Восток-2, Скрытое, Забытое, Тигриное и др.), характеризующиеся комплексностью руд, в которых наряду с вольфрамом и оловом распространены некоторые редкие и благородные металлы.

Дальнегорский рудный район характеризуется преимущественным сосредоточением проявлений свинца и цинка разного типа: скарнового, жильно-

го, прожилково-вкрапленного порфиорового, а также присутствием месторождений бора, олова, сурьмы, флюорита, серебра и золота. Процессы рудообразования в районе разделяют на несколько этапов, синхронных проявлениям магматизма [8, 9]. С ранним магматизмом связывают формирование скарнового боросиликатного оруденения, а также проявлений касситерит-пирит-галенит-сфалеритовых прожилково-вкрапленных руд. В последующий этап формировались месторождения свинцово-цинковых руд (иногда с Sn) разной морфологии. С поздним этапом связывается возникновение сурьмяной, флюоритовой, золото-серебряной, иногда оловянной минерализации.

Кавалеровский оловорудный район, грубо соответствуя горстовому поднятию терригенного основания, рассечен сетью разноориентированных разломов, среди которых преобладают сдвиги СВ простирания. Вулканогенные образования позднего мела-палеогена, несогласно перекрывающие породы основания пояса, сосредоточены в нескольких депрессиях. С периодом интенсивной магматической деятельности в позднем мелу-палеогене связано образование не только вулканических покровов, но и субвулканических тел, плутонических массивов, трубок взрыва и многочисленных даек, игравших существенную роль в формировании оловянного оруденения. В районе выделяется четыре вулканогенно-плутонических серии: татибинская (альб-сеноман), угловская и приморская (сеноман-сантон), якутинская (маастрихт-даний). К палеогену относится суворовский комплекс.

Олово-сульфидные проявления часто парагенетически связаны с магматическими телами повышенной основности; олово-полиметаллические – с умеренно кислыми и кислыми, а олово-сульфосольные (олово-серебряные) – с кислыми магматами повышенной щелочности.

В Кавалеровском районе размещены Высокогорское, Силинское, Темногорское, Дубровское, Арсеньевское, Хрустальное, Ивановское и другие оловорудные месторождения.

Некоторое сходство в геологическом строении и размещении оруденения с вышеупомянутыми районами свойственно Кемскому району, где известны месторождения серебряных и олово-полиметалльно-серебряных руд (Таежное, Кумирное, Сухое и др.), сосредоточенные среди эффузивно-экструзивных образований вулканогенного этажа и на его границе с терригенными породами фундамента.

В Фурмановском районе, сходном по своей геолого-металлогенической характеристике с Дальнегорским, известно несколько олово-полиметаллических (Щербаковское, Фасольное, Лиственное) и золото-серебряных (Союзное, Милоградское, Минеральное, Васильковское) месторождений. Проявления Pb и Zn в основном приурочены к породам покровно-складчатого фундамента, а Au и Ag – к вулканитам приморской серии.

Положение разнотипных месторождений в рудных районах контролируется различными сочетаниями эшелонированных систем разломов разной ориентировки, зонами смятия, повышенной трещиноватости, выводными каналами палеовулканов, субинтрузивными телами, роями даек, позитивными и негативными структурными формами.

Методика исследования

Совокупность нарушений земной поверхности, выделяемая по космофотоснимкам (КФС) представлена разломами различной природы и возраста, как сопряженными с процессами рудообразования (т.е. служащие инфраструктурой магмам или рудоносным гидротермальным растворам), так и не сопряженными. Одной из задач, поставленных в ходе исследования, была выработка принципов отбраковки линейных элементов изображения КФС, не связанных с рудообразованием. Решение такой задачи связано с пониманием региональной тектонической модели. Попытки описать закономерности размещения рудных месторождений линейной моделью в зависимости от площадного распределения структурных параметров (плотности, фрактальной размерности узора, изотропности и других), показывают низкую корреляцию, что приводит к затрудненности интерпретации конечных результатов. Применение искусственных нейронных сетей затрудняет генетическую интерпретацию результатов обучения сети и дальнейшую увязку с региональной тектонической моделью. Результаты зависят от выбранной архитектуры нейронной сети, метода обучения и т.д.

Предварительные опыты показали, что, выделение вообще всех нарушений, или соответствующих им элементов дистанционного изображения затрудняет последующую минерагеническую интерпретацию.

В качестве источника данных для нашего исследования послужили материалы радарной интерферометрической съемки земного шара (SRTM, Shuttle Radar Topographic Mission), распространяемой в виде сети с ячейкой 3 угловые секунды с

пространственным разрешением 90 м [13]. В отличие от фотографических и телевизионных космических изображений Земли, данные SRTM содержат информацию о рельефе, его относительных превышениях, характере гидросети, выраженных геологических структурах. Это делает SRTM хорошей опорой для региональных структурно-геологических и последующих прогнозных исследований.

Для выделения тектонических нарушений, радарное изображение преобразовывалось с генерацией теневого рельефа в программе Qgis. Методика получения контрастного теневого рельефа аналогична описанной [14]. Для генерации теневого рельефа использовался виртуальный источник света с возвышением над горизонтом 30°. Создавалась серия изображений теневого рельефа с азимутами источника света: 0°, 45°, 90°, 135°. Затем полученная серия объединялась в единое изображение наложением. Полученное таким способом комбинированное изображение отличается большим контрастом выражения ребер рельефа и более пригодно для их дальнейшего распознавания [15].

Обобщенно, алгоритм выделения линейных элементов изображения, отвечающих тектоническим несплошностям, состоит из следующих поэтапных действий: выделение границ, бинаризация и, собственно, выделение линейных элементов для дальнейшего анализа.

На первом этапе, для выделения границ применяется алгоритм Canny. Этот алгоритм, в свою очередь состоит из нескольких последовательных шагов: фильтрации с применением функции Гаусса, и последующего расчета градиента изображения. Пиксели, чей градиент не являлся локальным максимумом, исключались из дальнейших операций.

На втором этапе изображение с выделенными границами бинаризовалось с определенным пороговым значением. Третий этап представлял собой извлечение линейных элементов. Для этого бинаризованное изображение истончалось для получения кривых толщиной в 1 пиксель. Затем рассматривались изолированные участки скелетированного изображения. Участки, длина которых в пикселях менее устанавливаемого порогового значения, исключаются из дальнейших расчетов. Прочие участки аппроксимировались отрезками линий, которые, в свою очередь, отвечали **параметрам связности** (при промежутке между двумя отрезками менее некоторого порогового количества пик-

селей они объединялись в один) и сонаправленности (для объединения отрезков угол между ними должен также не превышать некоторого значения). Формализация применяемых в процессе выделения линейных объектов алгоритмов является способом получения сравнимых результатов разными исследователями [15, 16].

Для региона исследований включившего рудные районы юго-восточного Приморья нами показано, что изменяя пороговые значения параметров фильтрации, можно регулировать количество выделяемых линейных объектов (выбирая наиболее соответствующие рудоносным структурам) и редуцировать массив данных. Мы исходили из предположения, что **наибольшей связностью и протяженностью характеризуются линейные элементы тектонической природы**. Регулируя параметры фильтрации, можно отбраковывать объекты нетектонического происхождения, литогенетические, контракционные трещины, отдельность, кливаж и т.д. На приводимых далее рисунках (рис. 2а и б) показан массив линейных элементов изображения, выделенных с различными пороговыми значениями и розу-диаграмму, построенную на их основе. Видно, что при увеличении минимальной длины выделяемых отрезков (МДЛ) кривых количество выделяемых последних падает (см. рис. 2а), но общая картина, выраженная на розе-диаграмме сохраняется (см. рис. 2б). Северо-западная ориентировка линий соответствует ориентировке поперечных структур растяжения, пространственно сопряженная с оруденением [7].

Для проверки связи выделенных элементов изображения и локализации рудных месторождений, для каждого из выявленных линейных элементов строились буферные зоны (полигоны, границы которых удалены от линейных элементов на некоторое постоянное расстояние). Границы буферных зон проводились на удалении 1, 3, 5, 7, 9, 11 км от линейных элементов соответственно, перекрывающиеся буферные зоны объединялись. Производился учет рудных объектов, оказавшихся в пределах этих буферных зоны (рис. 3, 4), а также размещения известных магматических образований (рис. 5).

Наблюдается тяготение магматических тел к детектированным разрывным нарушениям северо-западного простирания и, в особенности, к зонам их сгущения (рис. 5). В данном случае, очевидно, уместно говорить о «структурно-вещественных парагенезисах» (в понимании Василевского М.М. [17]).

Прогнозная перспективность выделенных «буферных зон» может быть уточнена в зависимости от размещения интрузий, которые являются источником рудного вещества. Для определения «качества» прогноза при выборе той или иной площади буферных зон можно определить его *относительную эффективность*.

Относительная эффективность применяемой прогнозной методики может быть представлена в виде произведения [18]:

$$\Xi = V * c,$$

где V – сокращение опойсываемой площади, с – количество включенных в рекомендуемую площадь рудоносных структур. В соответствии с этим, наиболее эффективным представляется использование буферной зоны 5 км. В этом случае на 52% исследуемой территории в качестве перспективной сосредоточено 74% известных месторождений и 63% от общего количества рудных объектов.

В пределах «эффективной» буферной зоны 5 км находятся основные рудные объекты и интрузии выделенных ранее рудных районов ВСАВПП (рис. б).

Результаты и их обсуждение

Научно-практические задачи исследования сводились к формированию рекомендаций по обработке данных спутниковой радарной интерферометрии (SRTM) для целей минерагенического исследования:

1 – по машинному выявлению элементов дистанционного изображения, отвечающих дизъюнктивам;

2 – редукации полученных данных, направленных на конкретизацию тектонического фактора формирования структурного паттерна территории с отсевом;

3 – увязки полученных данных с региональной тектонической моделью.

Проведенное исследование на части территории Журавлевской, Таухинской и Кемской металлогенических зон позволило выделить рудоконтролирующие системы нарушений преимущественно северо-западной ориентировки, отвечающие раздвиговым структурам, т.е. проницаемым зонам, по которым происходило внедрение магматитов.

Сопоставление в пределах юго-восточного Приморья площадей предполагаемых зон влияния с действительным положением рудных объектов (узлов, месторождений и рудопроявлений) демонстрирует высокую вероятность обнаружения новых проявлений оруденения на таких участках с возможностью трансляции на ранее неизученные площади.

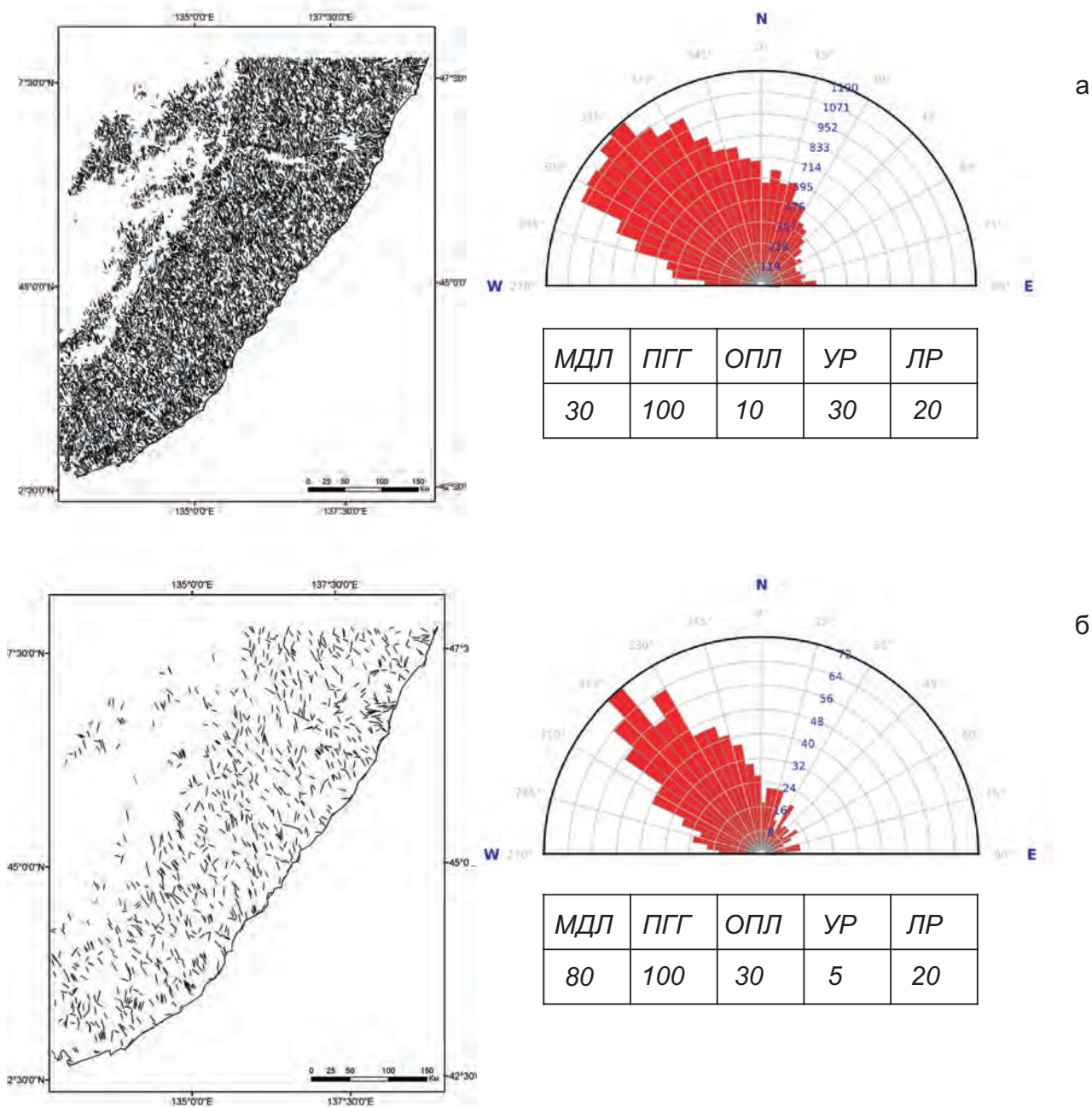


Рис. 2. Линейные элементы изображения, определенные для различных параметров распознавания и розы-диаграммы их ориентировок. Таблицы содержат параметры выделения (в пикселах): МДЛ – порог длины линии; ПГГ – порог градиента границы; ОПЛ – ошибка подгонки линии; УР – угловая разность; ЛР – линейный разрыв

Выводы

Обнаружение связей между структурными паттернами и рудоносностью, делает изучение структурной составляющей дистанционного изображения достаточным основанием для предварительной классификации территорий по уровню потенциальной перспективности. Тем самым открывается возможность широкого использования

экономически выгодного формализованного метода для экспресс-оценки с целью наращивания ресурсного потенциала рудных полезных ископаемых (благороднометалльных, олово-полиметаллических, иных). Такая оценка, полученная средствами анализа структурных паттернов, способствуя достижению определенной экономии времени и средств при выделении участков, рекомендуемых

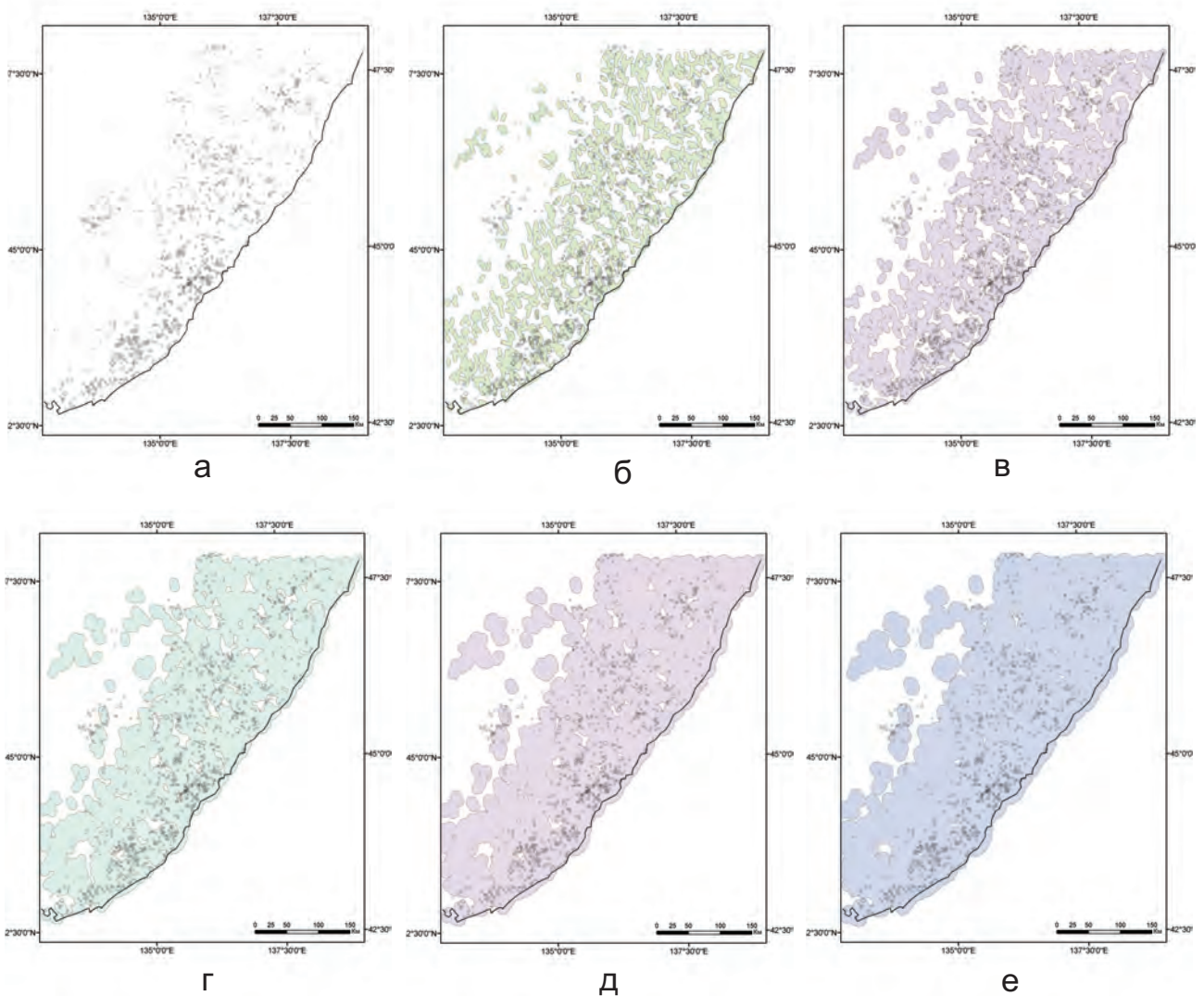


Рис. 3. Положение рудных объектов в пределах «буферных зон влияния» выделенных линейных элементов изображения. Применялась различная удаленность границ буфера от линейных элементов: а – 1 км; б – 3 км; в – 5 км; г – 7 км; д – 9 км; е – 11 км

для более детального исследования, предполагает необходимость использования и традиционных хорошо зарекомендовавших методов поисков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН и ДВО РАН (проекты № 12-I-П27-02, № 12-3-A08-159, 13-III-B-08-166), целевой комплексной программы ДВО РАН «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных исследований ДВО РАН».

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России : в 2 т. / [под ред. А.И. Ханчук]. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Т. 1/2. – 982 с.
2. Ханчук А. И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России / А. И. Ханчук // Рудные месторождения континентальных окраин. – Владивосток : Дальнаука, 2000. – Вып. 1. – С. 5–34.

3. Ханчук А. И. Геология и полезные ископаемые Приморского края. / А.И. Ханчук [и др.]. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 66 с.

4. Gonevchuk V. G. Tin deposits of the Sikhote-Alin and adjacent areas (Russian Far East) and their magmatic association / V. G. Gonevchuk [et al.] // Australian Journal of Earth Sciences. – 2010. – V. 57, № 6. – P. 777–802.

5. Хомич В. Г. Металлогения вулcano-плутонических поясов северного звена Азиатско-Тихоокеанской мегазоны взаимодействия / В. Г. Хомич. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 343 с.

6. Родионов С. М. Металлогения олова Востока России / С. М. Родионов. – М. : Наука, 2005. – 327 с.

7. Уткин В. П. Структура, геохронология и структурно-динамические условия вертикального развития Восточно-Сихотэ-Алинского магмо-металлогенического пояса / В. П. Уткин // Рудные месторождения континентальных окраин. – Владивосток : Дальнаука, 2000. – Вып. 1. – С. 35–44.

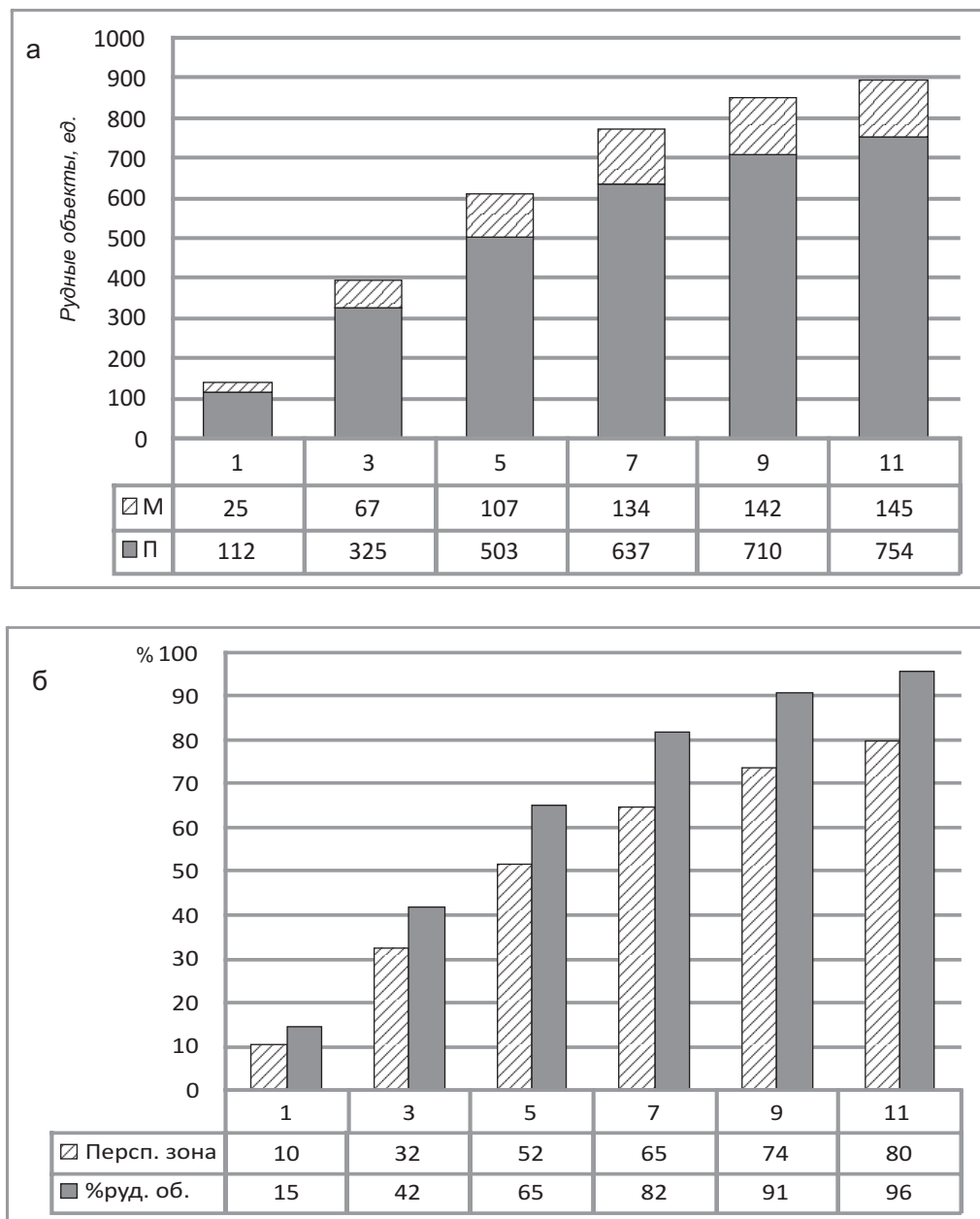


Рис. 4. Доля рудных объектов в буферных зонах дешифрованных нарушений различной ширины. М – месторождения, П – проявления

го пояса / В. П. Уткин // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404, № 5. – С. 659–663.

8. Симащенко Л. Ф. Партизанское скарново-полиметаллическое месторождение: геология, металлогения, генезис. Таухинская металлогеническая зона Сихотэ-Алинь / Л. Ф. Симащенко, В. В. Раткин. – М. : Наука, 2008. – 158 с.

9. Юшманов Ю. П. Тектоника, глубинное строение и металлогения Прибрежной зоны Южного Сихотэ-Алиня / Ю. П. Юшманов, А. М. Петрищевский. – Владивосток : Дальнаука, 2004. – 111 с.

10. Государственная геологическая карта. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист L-(53), (54) – Кавале-

рово. Объяснительная записка / [гл. ред. Т. В. Брежнева]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1994.

11. Государственная геологическая карта. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист L-(52), (53) – Пограничный. Объяснительная записка / [гл. ред. Р. И. Соколов]. – Л. : Аэрогеология, 1980.

12. Государственная геологическая карта. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист K-(52), (53) – Владивосток. Объяснительная записка / [гл. ред. Т. В. Брежнева]. – Л. : ВСЕГЕИ, 1991.

13. Farr T. The Shuttle Radar Topography Mission / T. Farr [et al.] // Reviews of Geophysics, Vol. 45, RG2004 – 2007. – URL: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf (дата обращения: 21.09.2012).

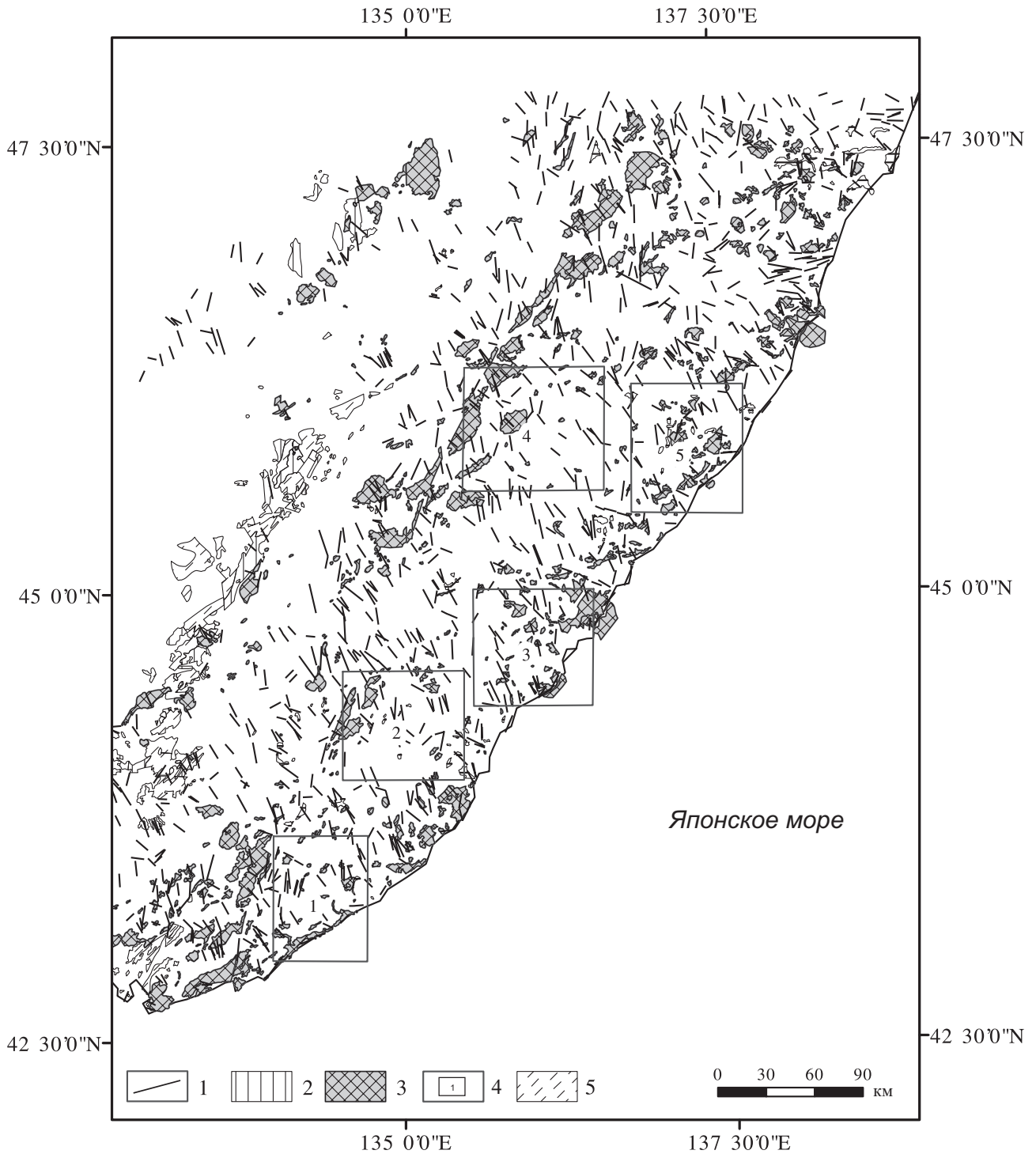


Рис. 5. Соотношения выделенных линейных элементов теневого рельефа, крупных интрузивов ВСАВПП и известных рудных районов. 1 – линейные элементы изображения, 2 – граниты, пермская система, 3 – граниты, верхний отдел меловой системы, 4 – граниты, палеогеновая система, 5 – верхнепалеозойские граниты, 6 – границы рудных районов и их номер (см. рис. 1)

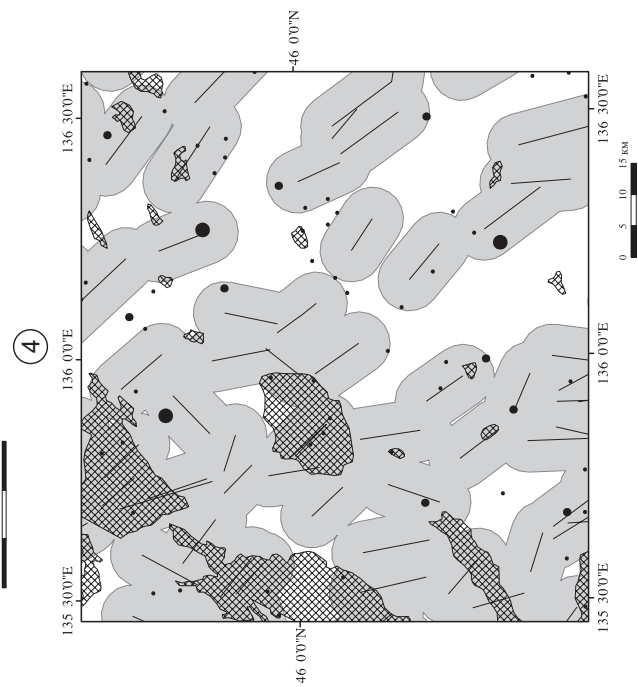
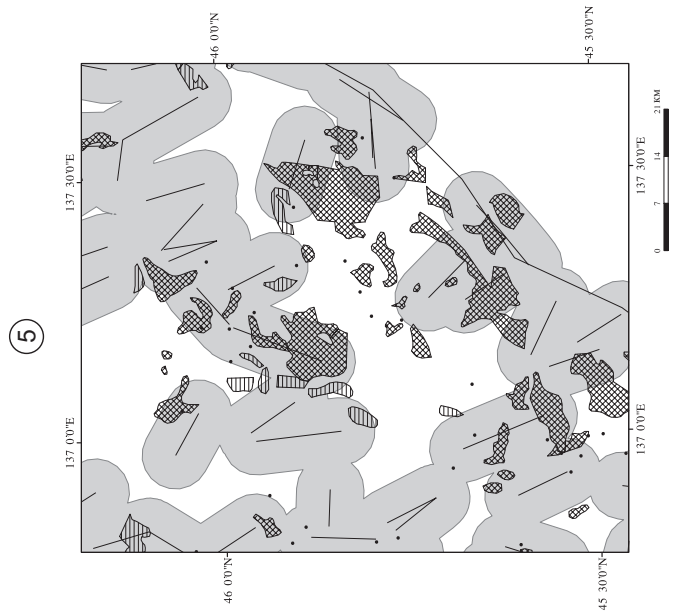
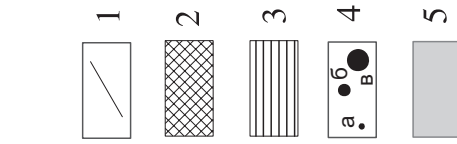
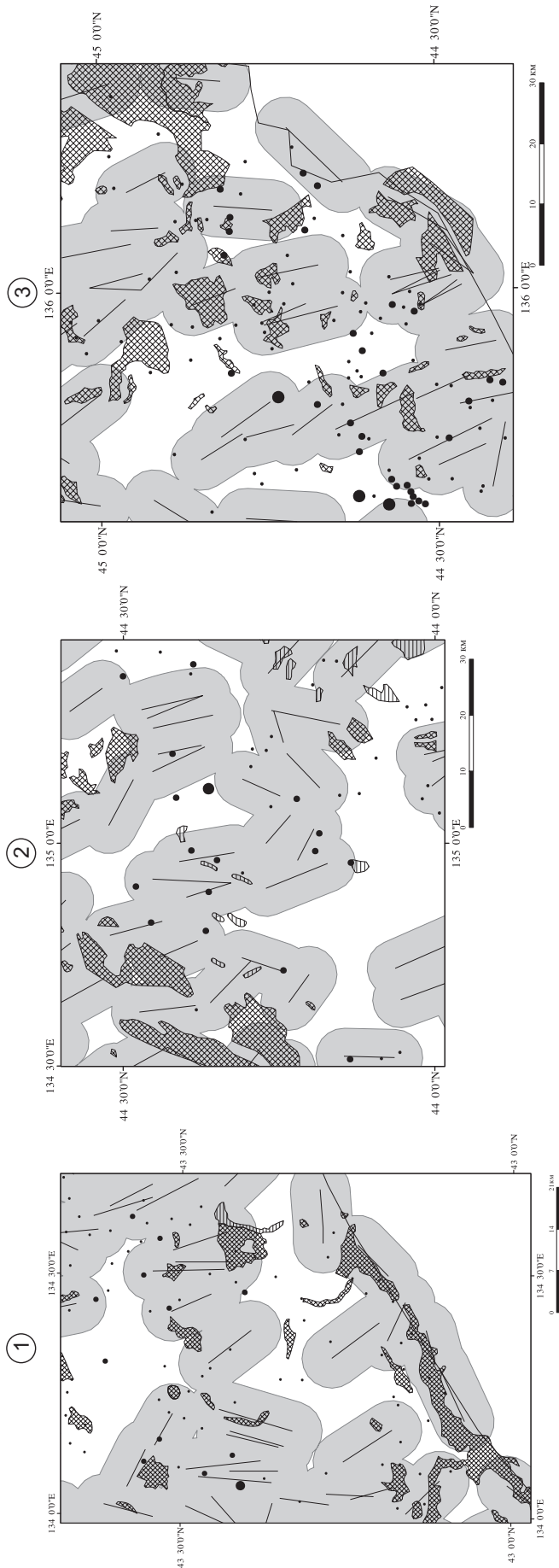


Рис. 6. Локализация рудных объектов и интрузивов в пределах выделенной буферной зоны. 1 – линейные элементы изображения, 2 – граниты, пермская система, 3 – граниты, верхний отдел меловой системы, 4 – граниты, палеогеновая система, 5 – верхнепалеозойские граниты, 6 – рудные объекты (а – проявление, б – месторождение малое, в – месторождение среднее), 7 – буферные зоны удаленностью 5 км. Цифры в кружках – рудные районы (нумерацию см. рис. 1)

14. *Abdullah A.* Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungai Lembing Area, Malaysia / Anwar Abdullah, Juhari Mat Akhir, Ibrahim Abdullah // *EJGE*. – 2010. – Vol. 15. – Bund. J. – P. 949–957.

15. *Maged M.* Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data / M. Maged, M. Hashim // *International Journal of the Physical Sciences*. – Vol. 5 (10). – P. 1501–1507.

16. *Gonzalez R.* Digital Image Processing. 3rd edition (March 1992) / R. Gonzalez, R. Woods. – Addison-Wesley Publishing Company. – P. 200–229.

17. *Василевский М. М.* Структуры разрушения и прогноз рудоносности / М. М. Василевский. – М. : Наука, 1982. – 152 с.

18. *Калашников А. О.* Структурно-вещественная упорядоченность геологических объектов как поисковый критерий эндогенных месторождений : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. О. Калашников. – Воронеж, 2009. – 24 с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Дальневосточный геологический институт», ДВГИ ДВО РАН, Владивосток

С. Л. Шевырев, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории минерации благородных металлов

Тел. 8 (924) 524-51-72

shevyrev@fegi.ru

Far East Geological Institute, Vladivostok

S. L. Shevyrev, PhD, scientist of laboratory of noble metals minerageny

Tel. 8 (924) 524-51-72

shevyrev@fegi.ru

В. Г. Хомич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией минерации благородных металлов

Тел. 8 (423) 231-87-50

office@fegi.ru

V. G. Khomich, Doctor of sciences, professor, Chief of laboratory of minerageny of noble metals

Tel. 8 (423) 231-87-50

office@fegi.ru