

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
В ПРЕДЕЛАХ ПЕПЕНВЕЕМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ
ЧУКОТСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОЙ
СЪЕМКИ РЕСУРС, КАНОПУС И ASTER

© 2023 г. Г. А. Миловский^а, *, А. А. Кирсанов^б, К. Л. Липияйнен^б, А. Д. Апарин^б

^аНаучный геоинформационный центр РАН (НГИЦ РАН), Москва, Россия

^бВсероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: oregas@mail.ru

Поступила в редакцию 13.12.2022 г.

При дешифрировании материалов космического зондирования восточной части Чукотского полуострова в масштабе 1 : 50000 выявлены структурные элементы тектоно-вулканогенного генезиса, представленные линейными, дуговыми, кольцевыми, зонально-концентрическими структурными элементами различного ранга. Кольцевые структуры диаметром до 2 км и секущие их дизъюнктивы преимущественно северо-восточного и субмеридионального простирания контролируют локализацию золотого оруденения Пепенвеемской рудно-россыпной зоны. На основе компьютерной обработки ИК-космической съемки ASTER в Пепенвеемской зоне выявлены площади развития гидротермально-измененных пород (березитов, вторичных кварцитов, серицит-гидрослюдисто-кварцевых метасоматитов) генетически связанных с оруденением. Применение космической съемки высокого разрешения в совокупности с геофизическими данными позволило в масштабе 1 : 10000 наметить приуроченные к вулcano-купольным структурам, золотоперспективные участки, которые характеризуются повышенной плотностью линеаментов и связаны со становлением субвулканических риолитов.

Ключевые слова: многозональная космическая съемка, поисковые признаки, месторождения, золото, серебро, Чукотка

DOI: 10.31857/S020596142304005X, EDN: XLIBUW

ВВЕДЕНИЕ

На рассматриваемой территории образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) залегают на палеозой-мезозойском складчатом основании. Верхний структурный ярус складчатого основания представлен валанжинскими (K_1v) терригенными отложениями и приуроченными к ним пластовыми и секущими телами габбро (vK_1). В физических полях породы складчатого основания выражаются повышенными значениями силы тяжести. Структурный комплекс Охотско-Чукотского пояса сложен вулканогенными образованиями и прорывающими их интрузивами гранодиоритов ($\gamma\delta K_1$), диоритов (δK_2), щелочных гранит-порфиров ($\epsilon\eta K_2$), субвулканическими телами риолитов (λK_2) и базальтов (βK_2). В пределах структурного комплекса ОЧВП выделяются два структурных яруса (Государственная..., 1993, Государственная..., 1977). Нижний структурный ярус представлен вулканидами среднего и кислото состава этелькуюмской свиты нижнего мела (K_1et), амгеньской толщи нижнего-верхнего мела

(K_{1-2am}) и экитыкинской свиты верхнего мела (K_2ec). Верхний структурный ярус представлен образованиями средней и верхней подсвит леурваамской свиты верхнего мела (K_2lr_{2-3}), и нунлигранской свиты верхнего мела-палеоцена (K_2-P_1nn). Риолиты, их туфы и ингимбриты леурваамской свиты локализованы преимущественно в пределах Лимгытынотской кальдеры, нунлигранская свита представлена отдельными выходами андезито-базальтов. С альба начинается накопление вулканитов ОЧВП, происходит обособление вулcano-структур нижнего структурного яруса с внедрением тел раннемеловых гранитов и даек андезитов. Со второй половины сеномана формируются структуры верхнего структурного яруса в основном кальдерного типа с завершающим развитием которых связано образование дуговых и концентрических разломов, внедрение поздне-меловых субвулканических и интрузивных тел, заложение разрывных нарушений север-северо-восточного простирания и концентрация цветных и благородных металлов. Для золото-серебряной

минерализации установлена связь с позднемеловыми субвулканическими риолитами. С последующей тектонической активностью четвертичного периода связано образование север–северо-восточных сбросо-сдвигов, даек базальтов и развитие неотектонических впадин. В основу системы поисковых признаков золотого оруденения на исследуемой территории положены прогнозно-поисковые комплексы, разработанные ЦНИГРИ (Прогнозно-поисковые..., 1983, Прогнозно-поисковые..., 1984).

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Материалы и методы

Дистанционные основы поисковых площадей подготовлены на основе космической съемки Ресурс-П (с разрешением 1м-канал № 10, и 3м-каналы № 21–23, 33) и Канопус-ПСС с разрешением на местности 2.5 м. На основе этих материалов выполнено космодешифрирование и проведен линейный анализ геологических структур в масштабе 1 : 25000–1 : 10000. Многозональная космическая съемка ASTER (Япония) использована для выявления на площади работ рудоперспективных метасоматических пород, генетически связанных с оруденением. На основе экспертно-компьютерного дешифрирования многозональной космической съемки в видимом и ближнем ИК – каналах проведено выявление линейных, дуговых и кольцевых структурных элементов различного ранга, позволяющее выделить группы линейментов, контролируемых эталонные объекты (рудные поля) и подготовить структурно-тектоническую схему площади работ в масштабе 1 : 50000; в результате компьютерного спектрального анализа многозональной космической съемки по эталонным спектрам минералов – индикаторов в совокупности каналов ИК – съемки (ближнем, среднем, дальнем), выполнена оценка наличия на исследуемой площади участков развития гидротермально-измененных пород (березитов, вторичных кварцитов, серицит-гидрослюдисто-кварцевых метасоматитов), присутствие которых является одним из факторов, указывающих на процессы гидротермального рудообразования. По результатам охарактеризованных выше работ намечены площади, на которых выполнено космодешифрирование материалов съемки высокого разрешения (панхром – 1м, многозональная съемка – 3м) с целью уточнения позиции рудоконтролирующих структурных элементов, особенностей литологического строения рудовмещающих толщ и определения границ перспективных участков (потенциальных месторождений) в масштабе 1 : 10000 для постановки наземных геолого-разведочных работ.

Результаты структурного дешифрирования

Пепенвеевская рудно-россыпная золоторудная зона локализована в пределах листов Q-1-XXI-78; Q-1-XXII-79,80; Q-1-XXIII-81,82. В пределах зоны выделяются рудные узлы Пепенвеевский, Гэтэвский, Чеутаканский (рис. 1). Дешифрирование материалов космической съемки в видимой и инфракрасной (ближней, средней, дальней) области спектра позволило выяснить следующие особенности структурно-тектонической позиции исследуемой площади. Площадь работ отличается неравномерным развитием дизъюнктивных элементов, которые контролируют размещение магматических тел и определяют границы структурных блоков. Выявленные при дешифрировании линейменты отображают разновозрастные линейные, дуговые, кольцевые, зонально-концентрические структуры. Можно выделить представленные линейными, дуговыми и кольцевыми элементами структуры первого ранга размером более 10 км, структуры второго ранга размером 2–10 км; а также структуры третьего ранга протяженностью менее 2 км. На исследованной территории преобладают разрывные нарушения субмеридионального, северо-восточного, а также северо-западного направления. Структуры первого ранга представлены субмеридиональными (север–северо-восточными) разрывными нарушениями, трассирующими Пепенвеевский, Гэтэвский и Чеутаканский рудные узлы.

При космодешифрировании большое внимание было уделено выявлению палеовулканических структур, которые имели первостепенное значение для локализации золотого оруденения. Крупные кольцевые структуры на площади работ представлены Лимгытынотской и Гэтэвской вулкано-тектоническими депрессиями в западной и центральной части Пепенвеевской рудно-россыпной зоны. Эти структуры деформированы разломами северо-восточного и в ряде случаев северо-западного простирания. Последние, по результатам космодешифрирования, могут рассматриваться как наиболее поздние дизъюнктивные образования исследуемой площади.

Важную роль в локализации золотого оруденения играют вулканогенные кольцевые структуры второго ранга диаметром 2–10 км. К ним относятся вулкано-купольные поднятия, сформированные при внедрении позднемеловых интрузивов и вулкано-корневые структуры, которые представляют собой поля развития субвулканических тел риолитов, прорывающих вулканогенные образования этелькуюмской свиты и амгеньской толщи.

Значительное место в тектоническом строении исследуемой площади принадлежит кольцевым структурам третьего ранга. Эти структуры, фиксирующиеся системами совмещенных дуговых и радиальных элементов, как правило деформированы непротяженными разломами. Такие структуры мо-

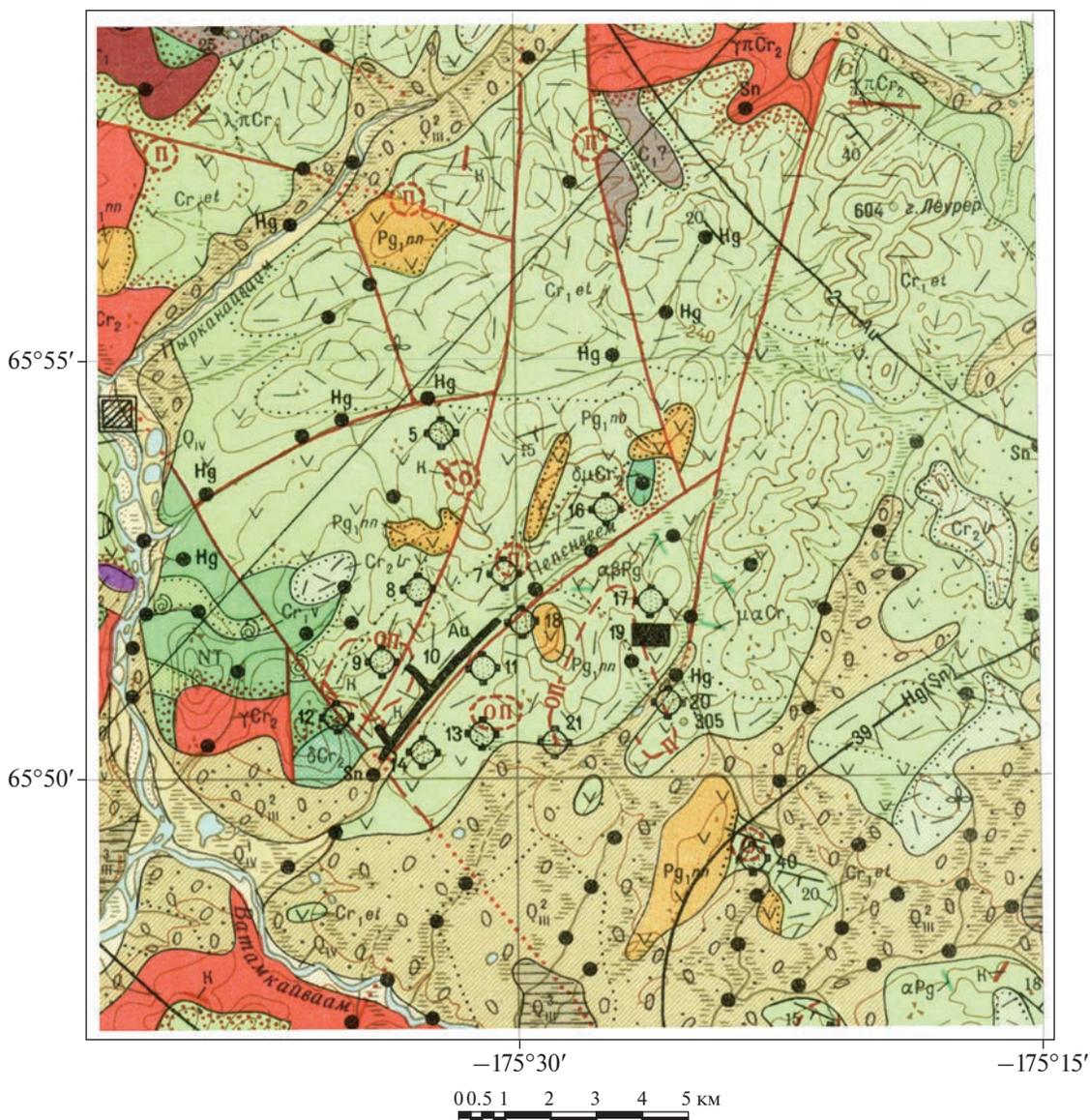


Рис. 2. Геологическая карта Пепенвеемского рудного узла.

гут представлять собой локальные вулcano-купольные структуры или локальные просядки (депрессии), которые являются поисковыми признаками рудных полей. Кольцевые структуры третьего ранга концентрируются в пределах кольцевых структур второго ранга, либо выстраиваются вдоль крупных нарушений преимущественно северо-восточного направления.

Пепенвеемский рудный узел расположен в области северо-западного замыкания Нунямувеемского вулcano-тектонического прогиба, формирование которого происходило в течение длительного времени: от раннего мела до палеогена включительно. На Пепенвеемской площади (рис. 2) доминируют линеаменты северо-восточного и субмеридионального (север—северо-восточного)

простираения (рис. 3). Преобладают линеаменты протяженностью 2–8 км. Кольцевые структуры и их фрагменты представлены преимущественно элементами размером 1.5–4 км. Плотность развития линейных и кольцевых линеаментов неравномерная, максимальных значений она достигает в узле пересечения северо-восточных и субмеридиональных разломов в поле развития этелькуюмской свиты. К этой же области приурочены практически все проявления рудного золота и россыпное месторождение Пепенвеем. Рудопроявления с максимальными содержаниями Au и Ag (“Тигант”, “Лев-Пепенвеемское”) локализованы на периферии кольцевых структур размером 1.5–2 км.

Кольцевые структурные элементы фиксируют контуры локальных вулcano-купольных структур, в

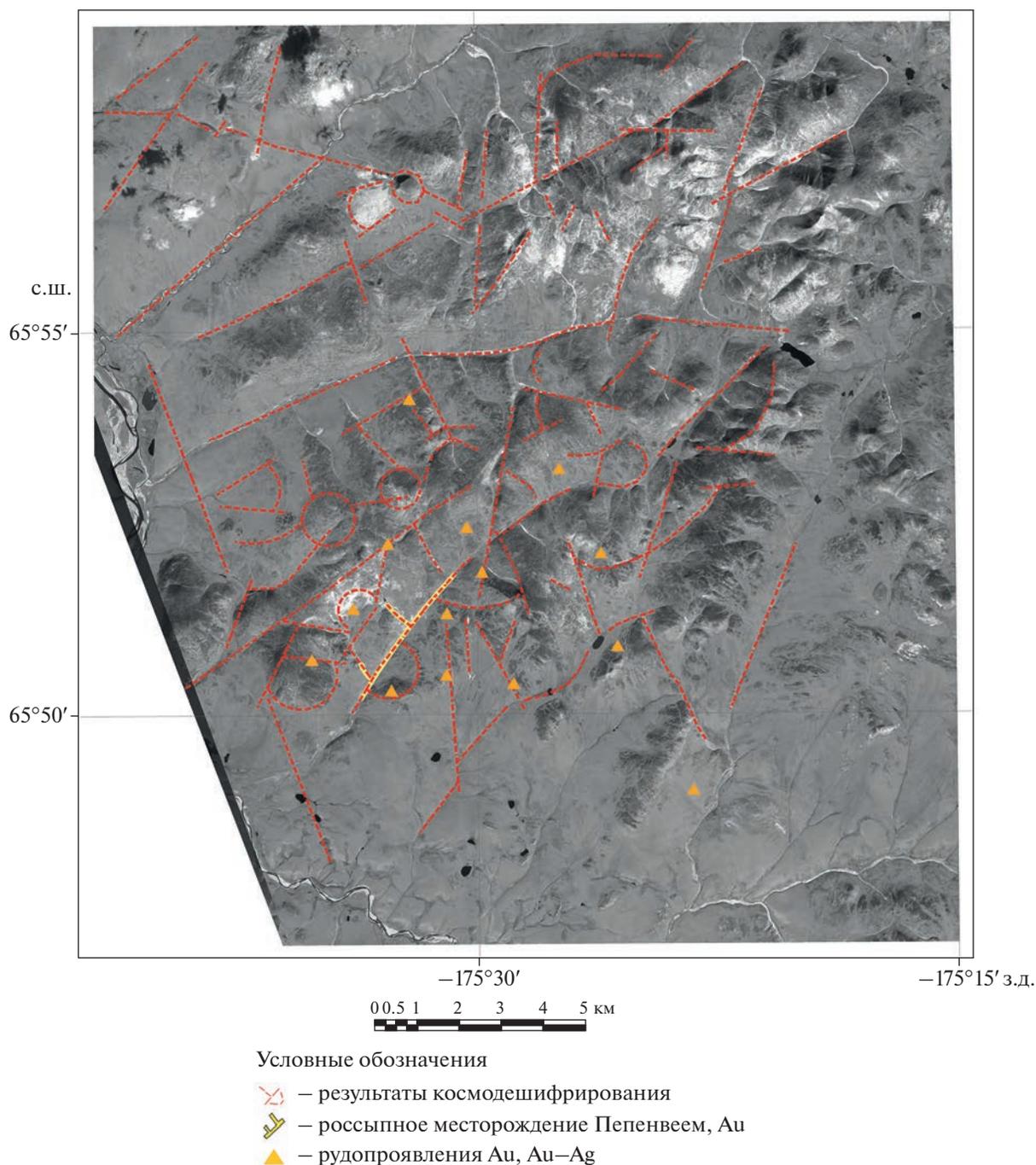


Рис. 3. Результаты космодешифрирования (Канопус-ПСС) Пепенвеемского рудного узла.

ряде случаев они совпадают в плане с обособленными выходами риолитов и андезитов, субвулканическими телами верхнемеловых диоритов и диоритовых порфириров. Выявленные по геологическим данным участки окварцевания и пиритизации также тяготеют к узлу пресечения северо-восточных и субмеридиональных разломов.

Контуры участков окварцевания и пиритизации лежат в пределах областей, ограниченных ли-

неаментами, полученными при космодешифрировании.

Гэтэвский рудный узел приурочен к одноименной депрессионной структуре, локализованной в узле пересечения разломов север–северо-восточного и северо-западного направлений. Участок рудопроявления Гэтэв сложен андезитами и их туфами экитыкинской свиты, ингимбритами и туфами риолитов леурваамской свиты, позднемеловыми лейкократовыми гранитами и субвулка-

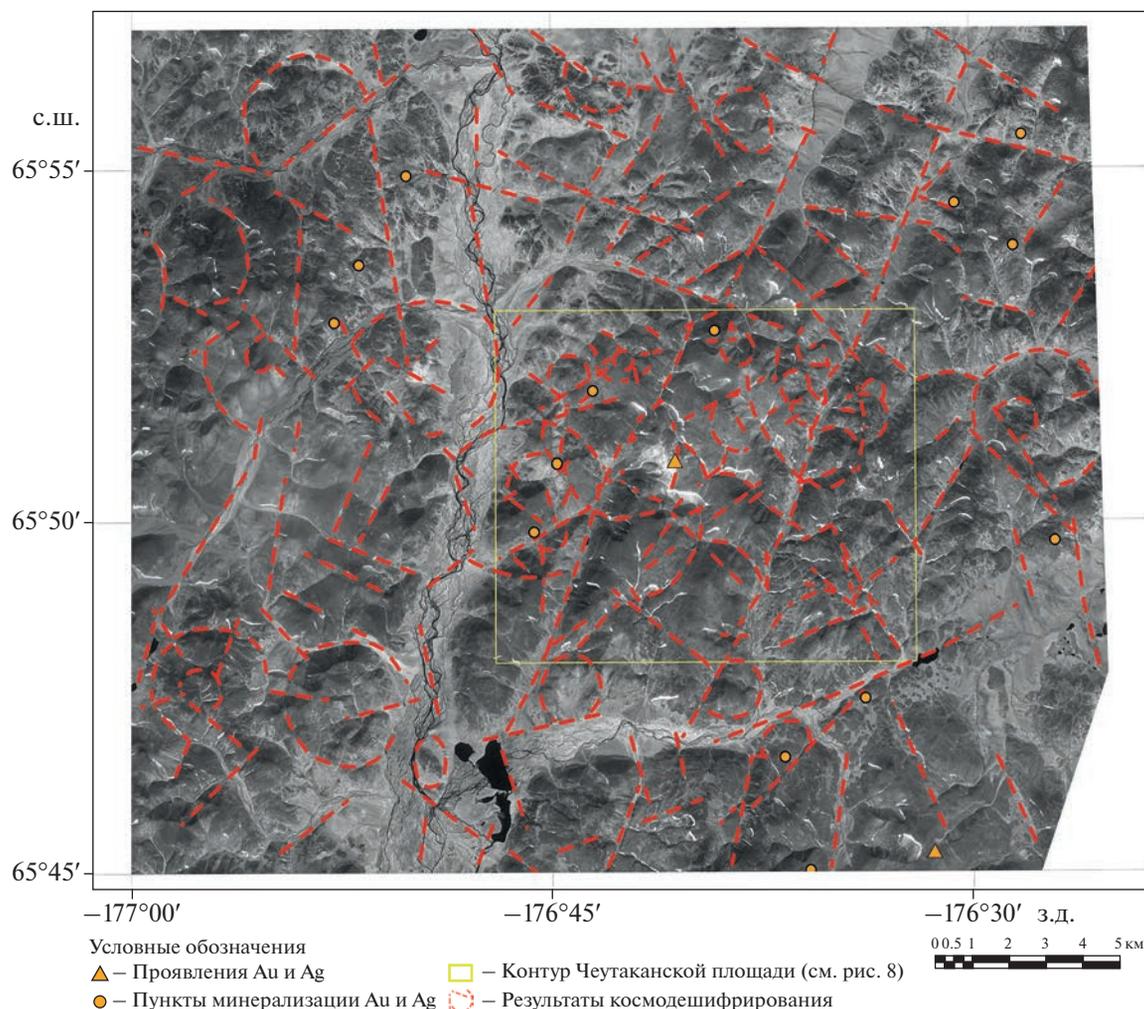


Рис. 5. Результаты космодешифрирования (Ресурс-П) Чеутаканского рудного узла.

узла, в которой расположено эталонное рудопроявление “Чумовое”, характеризуется слабо отрицательными значениями гравитационного и магнитного полей (рис. 6, 7).

Соотношение отдешифрированных структурных элементов и расположение субвулканических и магматических образований верхнемелового возраста в центральной части рудного узла представлено на рис. 8. Потенциально рудоносные тела субвулканических риолитов расположены в пределах линейных и дуговых локальных структур (размером менее 2 км), оперяющих глубинные разломы север–северо-восточного простирания. Интрузия диоритов также локализована в зоне север–северо-восточного разлома, а ее границы контролируются линейными и дуговыми структурами, оперяющими данный разлом. Важно отметить, что позиционирование кварцевых жил и контур вторичных кварцитов, снятые с геологической карты масштаба 1 : 200 000, также ориентированы в северо-восточном направле-

нии. Детальное дешифрирование (съемка высокого разрешения Ресурс-П) участка рудопроявления “Чумовое” позволило выявить дополнительные структурные элементы и дифференцировать по фототону изображения особенности строения рудовмещающих лаво-пирокластических образований амгеньской толщи (рис. 9).

Результаты дешифрирования субвулканических и метасоматических образований

Тектонические нарушения сопровождаются зонами гидротермально-измененных пород и кварцевыми прожилково-жильными зонами. Кварцевые жилы и прожилково-жильные зоны, как правило, пространственно ассоциируют с выходами позднемеловых субвулканических риолитов, экзо- и эндоконтактами интрузий. Наиболее продуктивные зоны установлены в пределах субвулканических тел риолитов. Мощность зон 25–40 м, протяженность их варьирует от 100 до 1000 м. Рудоносные

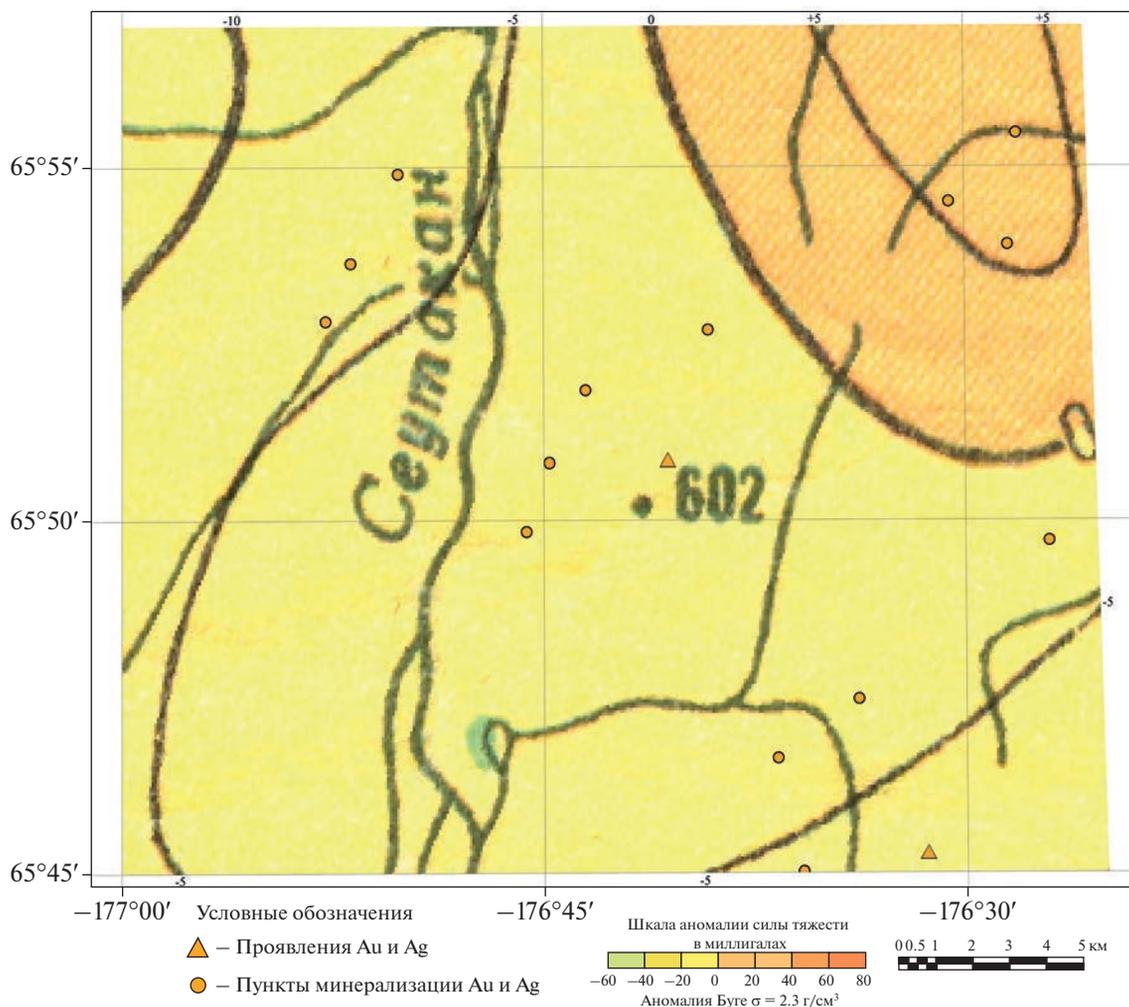


Рис. 6. Чеутаканский рудный узел: гравитационное поле.

зоны представлены жилами и участками прожилково-метасоматических образований, монокварцевой, серицит-кварцевой, реже каолинит-кварцевой фаций, сопровождаются устойчивыми геохимическими ореолами Au, Ag, As, Pb.

Дешифрирование продуктивных субвулканических образований (риолиты λK_2) проводилось с целью уточнения границ участков, рекомендованных для детализации в масштабе 1 : 10000. Анализ яркостных характеристик эталонных тел субвулканических риолитов, выполненный в различных спектральных каналах съемки Ресурс-П, позволил определить вероятностные контуры этих образований в пределах Чеутаканской площади. Результаты дешифрирования представлены на рис. 10.

Дешифрирование метасоматических образований различного типа, играющих важную роль при локальном прогнозе оруденения, стало возможным с появлением крупномасштабной многозональной космической съемки, позволяющей проводить исследования не только в ближнем

ИК-диапазоне, но и в средневолновом и тепловом ИК-диапазонах. При картировании гидротермально-метасоматических образований для выделения локальных рудоперспективных площадей существенная роль принадлежит анализу данных гиперспектральных космических снимков (ASTER и др.). Выявление зон метасоматических пород как индикаторов полезных ископаемых, успешно применяется при поисках меднопорфирового, золотого и полиметаллического оруденения (Кирсанов и др., 2019, Плюшев и др., 2012, Смирнова и др., 2020).

Технологии получения гиперспектральных данных основаны на построении изображений земной поверхности в каждом из узких интервалов регистрируемого спектра электромагнитных волн как отраженного, так и собственного теплового излучения природных объектов. Гиперспектральные изображения используются для определения и картирования горных пород и минералов по их спектрам. Многие минералы и горные поро-

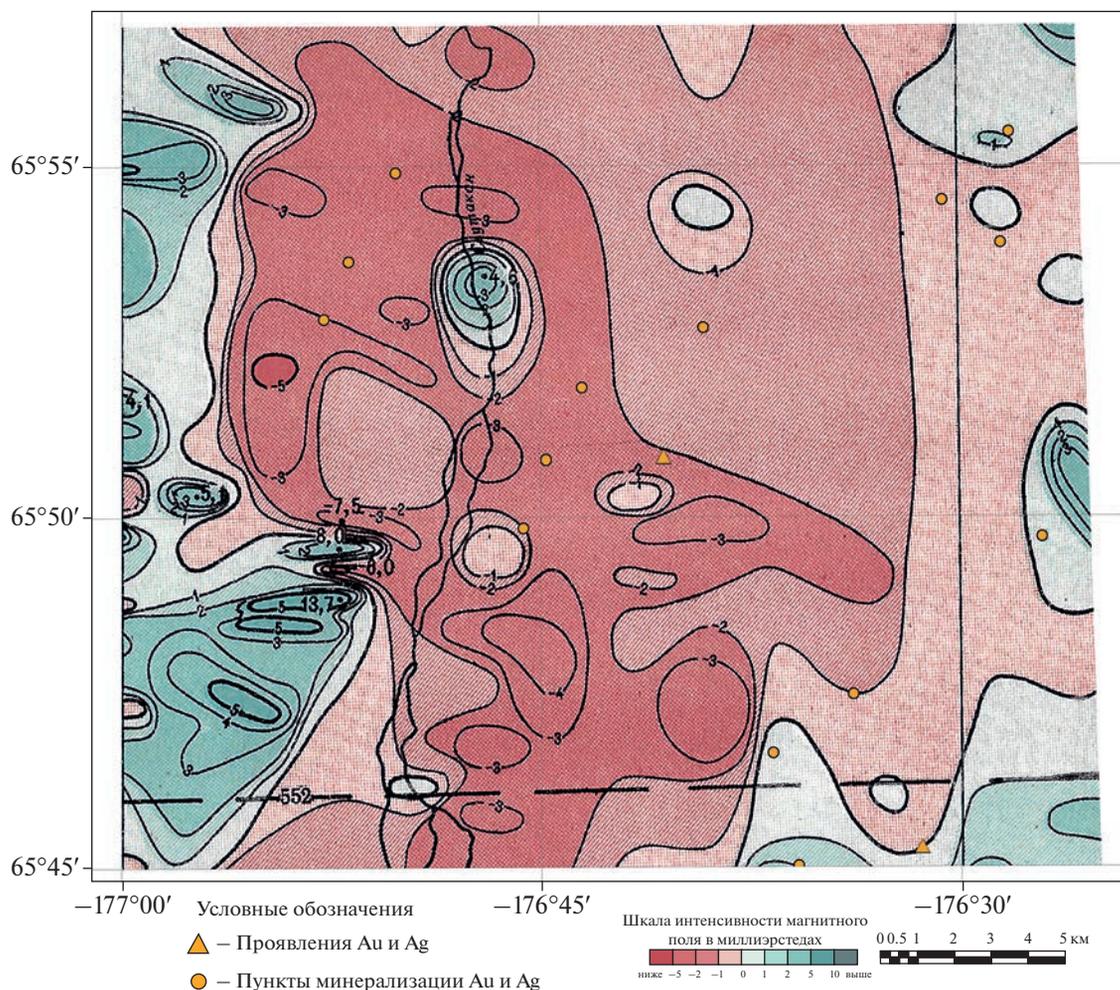


Рис. 7. Чеутаканский рудный узел: магнитное поле.

ды имеют уникальный спектр отражения и поглощения и могут быть выделены по этим спектрам, зафиксированным на материалах гиперспектральных съемок. К индикаторам околорудных измененных рудовмещающих пород, которые фиксируются на гиперспектральных изображениях, относятся альбит, алунит, барит, гипс, иллит, кальцит, каолинит, кварц, окислы и гидроокислы железа, пирит, серицит, хлорит, эпидот и ряд других минералов. Задача картирования минералов-индикаторов по данным спектрометрии состоит в вероятностной оценке минерального состава пород по их спектральным характеристикам.

Использовались замеренные и библиотечные спектры эталонных минералов из источников свободного доступа NASA и др. (JPL, USGS). Спектральный анализ производился на выявление пяти типов гидротермально-метасоматических пород, минеральные ассоциации которых приведены ниже (учитывались только главные минералы метасоматитов):

Пропилиты (р): альбит, кальцит, хлорит, эпидот, актинолит;

Березиты (br): кварц, серицит, пирит;

Гидрослюдисто-кварцевые (hq): кварц, иллит, каолинит;

Серицит-гидрослюдисто-кварцевые (shq): серицит, кварц, иллит, каолинит;

Вторичные кварциты (w): кварц.

Спектральная обработка изображений коэффициента отражения/излучения проводилась методом спектрального угла с применением эталонных спектров минералов. В результате обработки методом спектрального угла были получены матрицы значений спектральных углов для каждого эталонного минерала. На следующем этапе спектральной обработки были подобраны оптимальные пороги значений спектральных углов каждого эталонного минерала. Пороги подбирались в интерактивном режиме, при визуальном контроле процентного соотношения минералов в соответствии с его долей в породе. В результате были

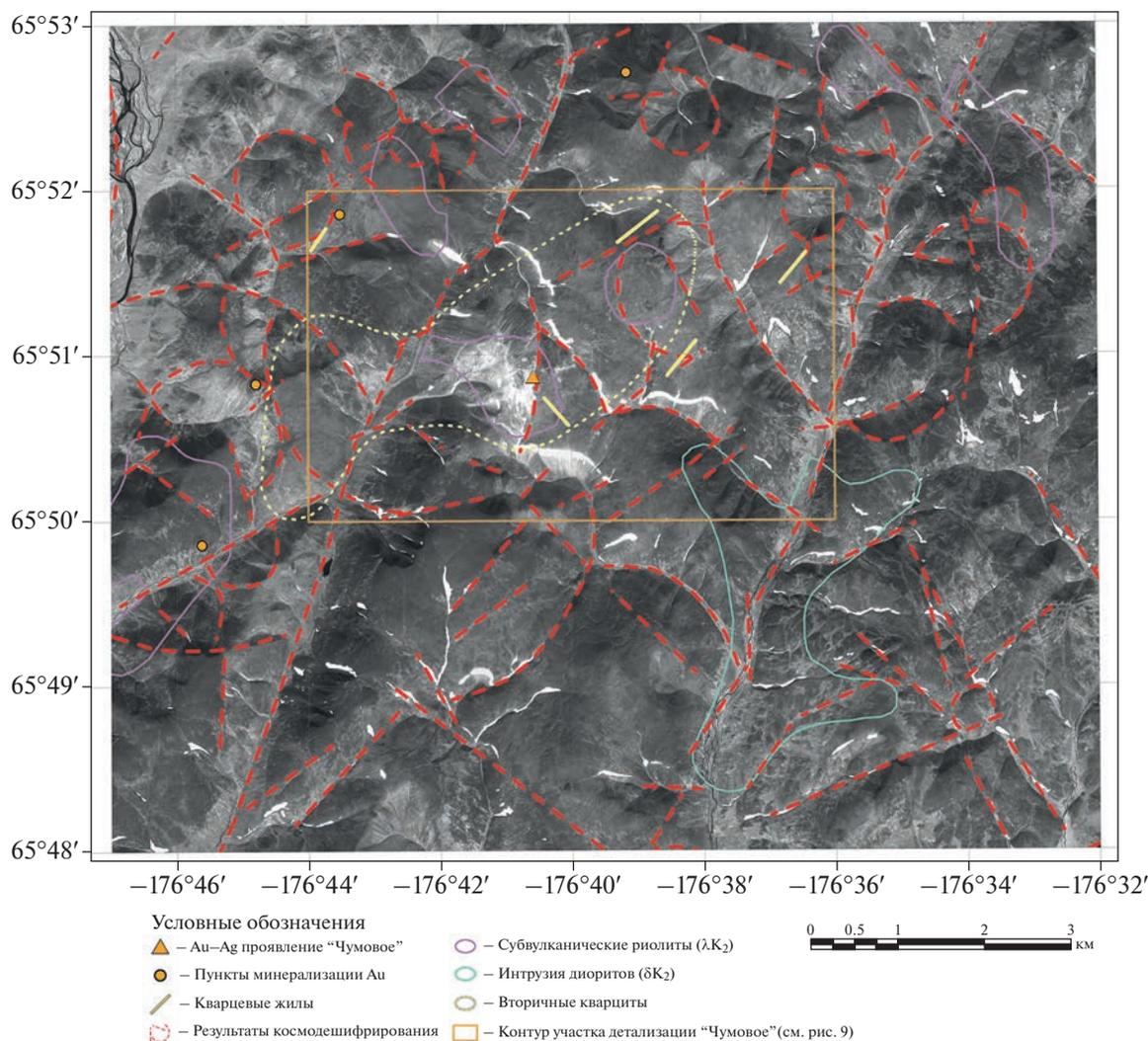


Рис. 8. Результаты космодешифрирования (Ресурс-П) Чеутаканской площади.

получены вероятностные схемы распространения минералов, входящих в состав каждого из указанных типов гидротермально-метасоматических пород. Для исследованных площадей построены схемы изображения плотностей, представляющих собой размытые пятна, на которых более темные участки соответствуют большому скоплению исследуемых минералов. Эти изображения плотностей были переведены в векторные контуры 3-х градаций по массовости скоплений (плотности) ассоциации минералов условно названных: минимальные, средние, максимальные. Поскольку все схемы носят вероятностный характер, то изображения плотностей отражают плотности вероятностей распространения пород, на основе соответствующей ассоциации минералов. По каждому типу метасоматитов построены контуры их распространения с максимальной плотностью вероятности (рис. 11).

Подготовка площадей для детальных работ с целью выявления рудоперспективных участков

Анализ проявлений и пунктов минерализации золота, относящихся к золото-серебряному вулканогенному генетическому типу, показал, что на исследованной площади большинство этих проявлений и пунктов минерализации приурочено к участкам пересечения кольцевых структур третьего порядка и линеаментов северо-восточного простирания (24%), линеаментам северо-восточного простирания (19%), линеаментам северо-западного простирания (17%), линеаментам субмеридионального простирания (10%). Для 30% пунктов минерализации приуроченность к тем или иным видам линеаментов не выявлена. Отмечается, что закономерности размещения проявлений коренного золота в вулканогенных толщах на территории, примыкающей с севера к исследуемой площади, также определяются наличием кольцевых структур и секущих их

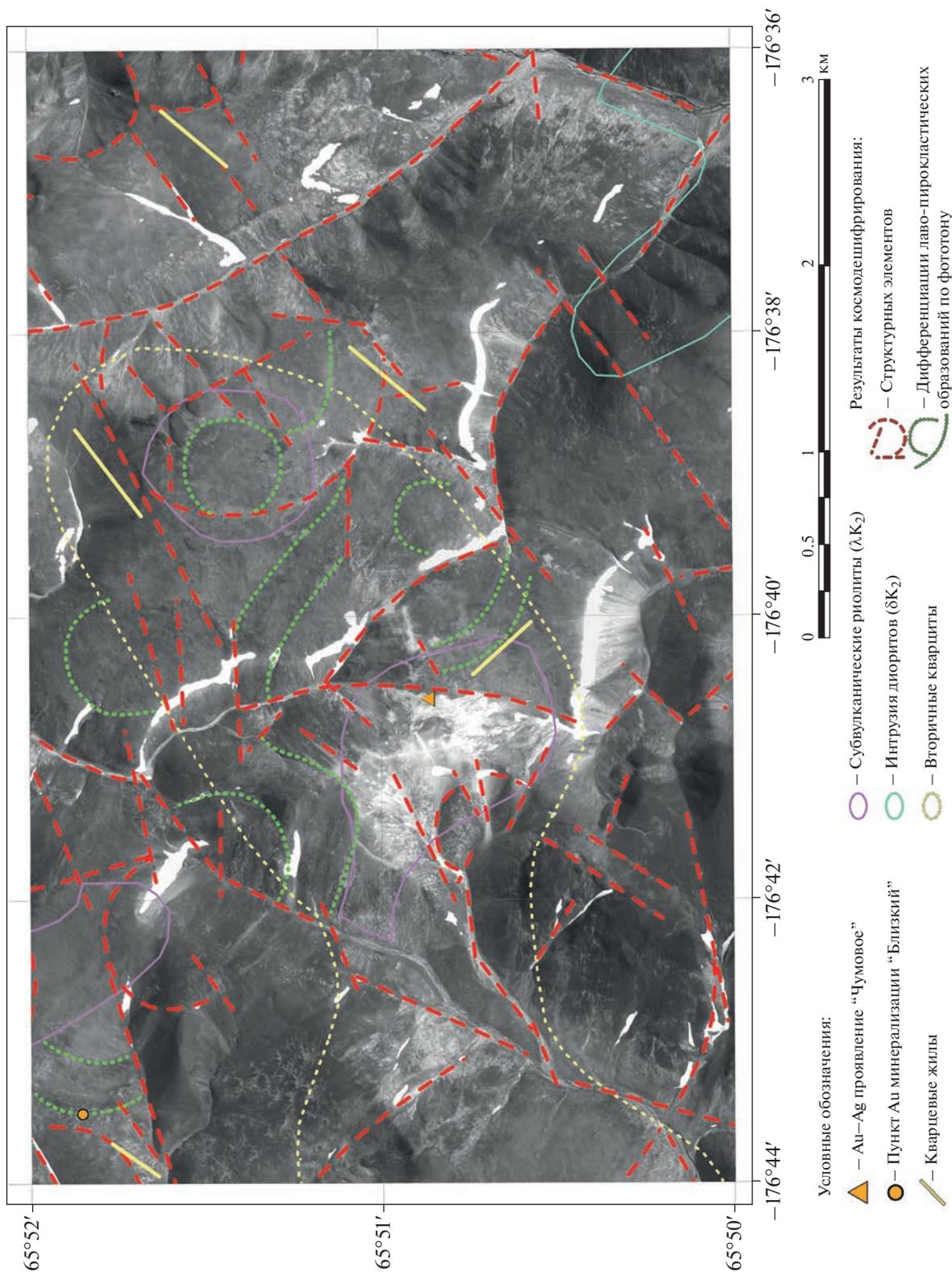


Рис. 9. Результаты космодешифрирования (Ресурс-П) участка детализации “Чумовое”.

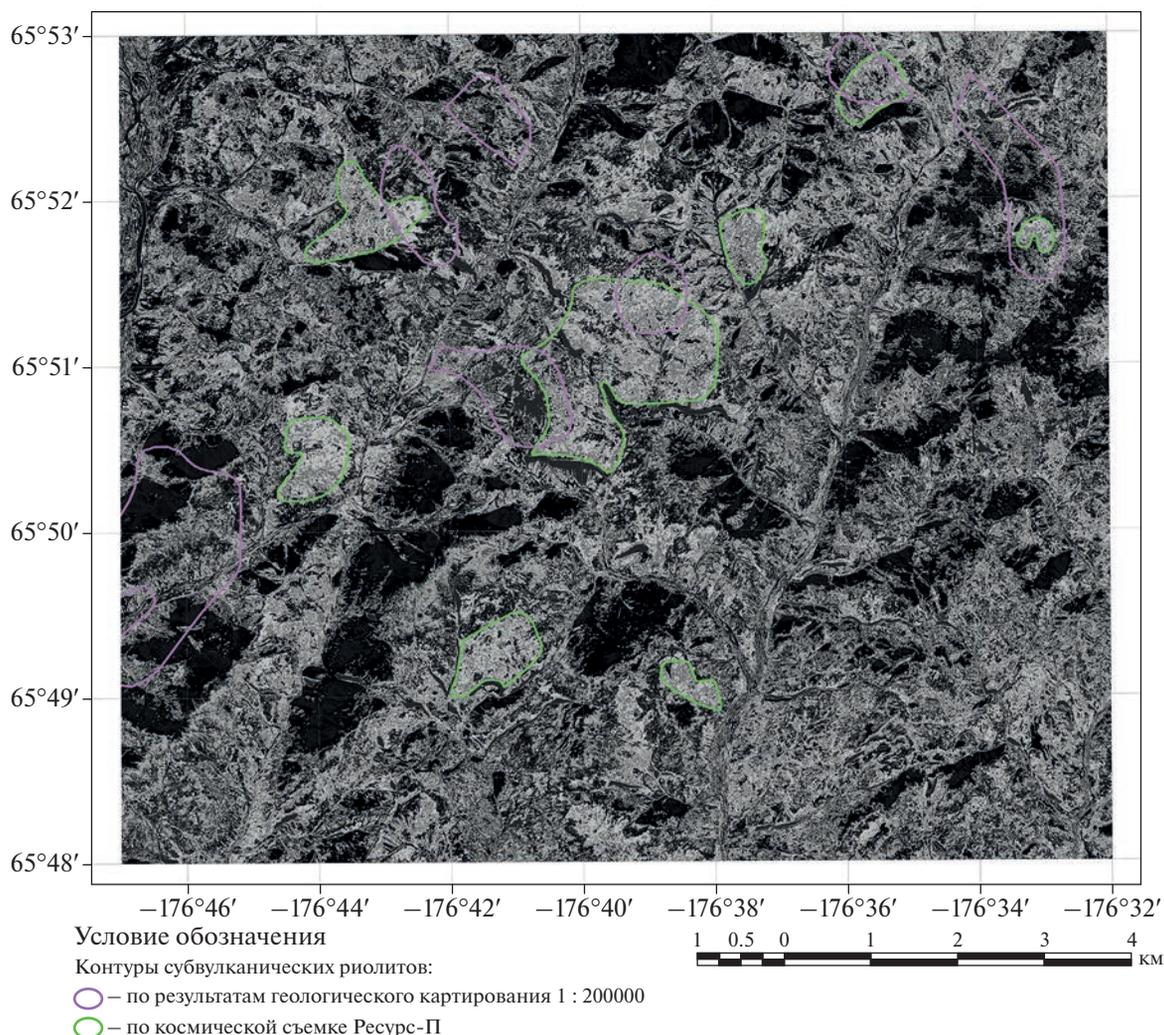


Рис. 10. Вероятностные контуры субвулканических риолитов на основе анализа данных многозональной космической съемки Ресурс-П по Чеутаканской площади.

дизъюнктивов преимущественно северо-восточного и субмеридионального простирания (Миловский и др., 2022).

Резюмируя изложенное выше, в качестве приоритетных для постановки детальных работ следует рассматривать площади развития кольцевых структур третьего ранга, отличающихся повышенной плотностью мелких линейментов различ-

ной (в первую очередь северо-восточной) азимутальной направленности и насыщенных субвулканическими риолитами. Эти площади, с учетом прогнозируемых по данным космосъемки ASTER зон метасоматитов (p, hq, shq, br, w), представляют собой потенциальные рудные поля, приуроченные к периферии палеокальдер, вулканокупольным или вулканокорневым структурам. К

Таблица 1. Рудоперспективные участки первой очереди, предлагаемые для постановки наземных заверочных работ в масштабе 1 : 10000

Рудоперспективные участки	Северная широта	Западная долгота
Участок 1	65°51'00"–65°52'00"	176°38'00"–176°40'00"
Участок 2	65°52'15"–65°53'00"	176°37'40"–176°39'50"
Участок 3	65°51'15"–65°52'30"	176°54'30"–176°57'00"
Участок 4	65°47'00"–65°48'00"	176°42'00"–176°45'00"

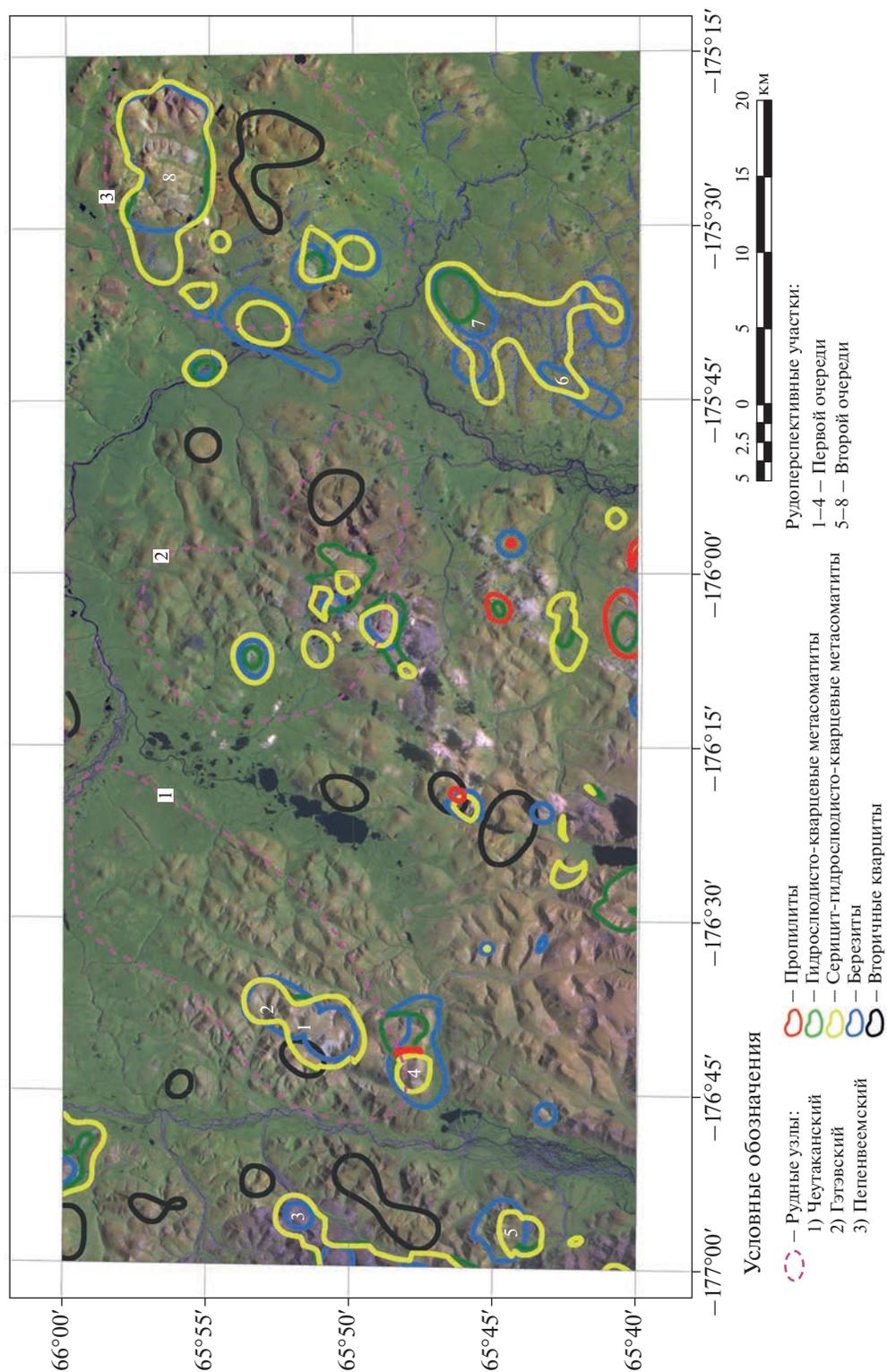


Рис. 11. Вероятностная схема контуров метасоматитов на основе обработки многозональной съемки ASTER. Чеутаганский, Гэтэвский, Пепенвеевский рудные узлы.

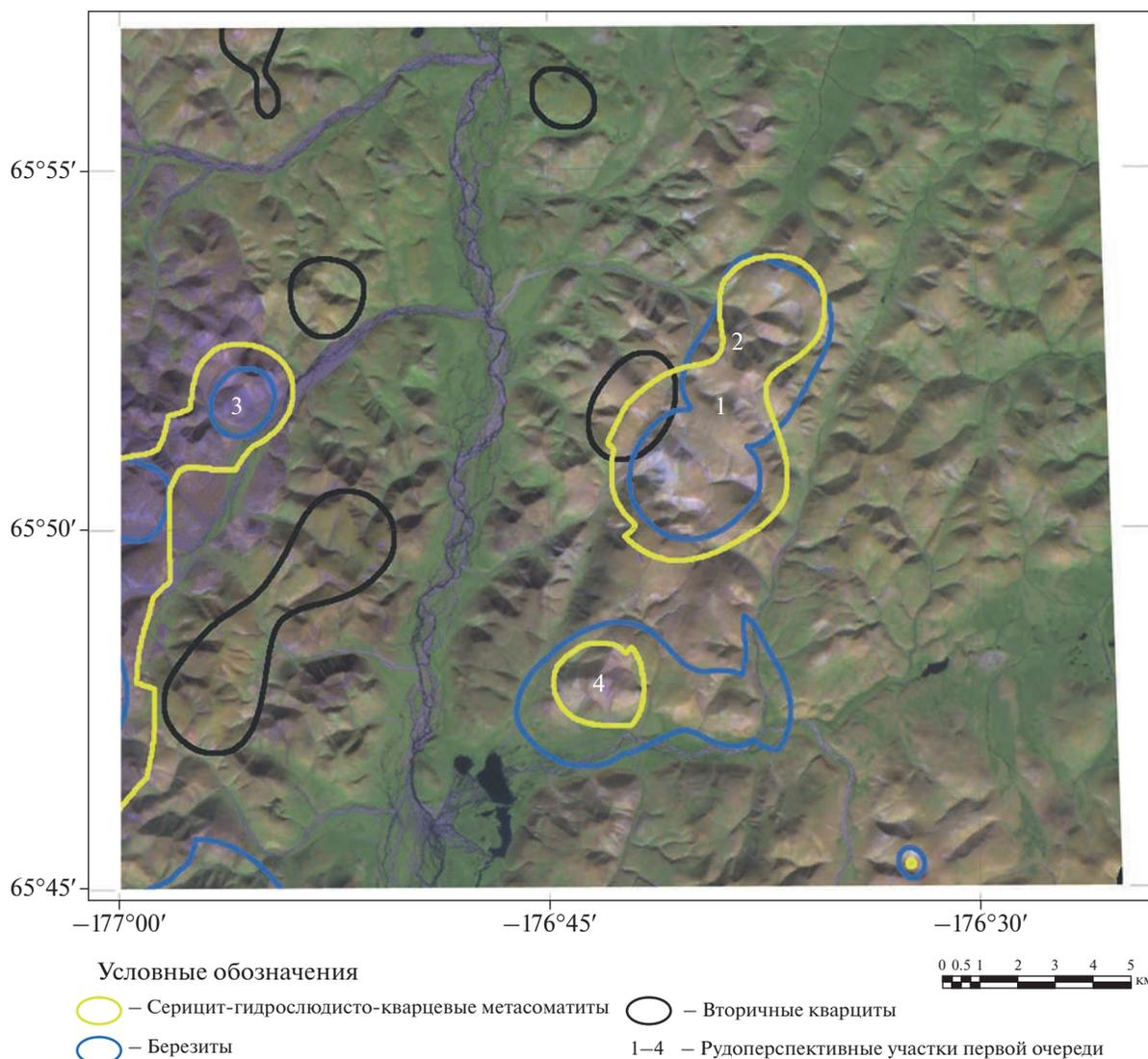


Рис. 12. Вероятностная схема контуров метасоматитов на основе обработки многозональной съемки ASTER. Чеутаканский рудный узел.

перспективным следует также отнести площади развития субмеридиональных глубинных разломов в узлах их пересечения с линеаментами северо-восточного и северо-западного простирания. Для космодешифрирования в масштабе 1 : 10000 с целью выбора золотоперспективных участков с их последующей наземной заверкой были предложены 8 площадей, представленных на рис. 11.

Анализ полученных данных показал, что в контуре Чеутаканского рудного узла и к западу от него имеется несколько максимумов метасоматитов (рис. 12, табл. 1). Один из них включает эталонное рудопроявление “Чумовое”, отличающиеся повышенными содержаниями Au и очень высокими содержаниями серебра, а также области, расположенные к северо-востоку от этого рудопроявления. Здесь выделены рудоперспективные

участки 1 и 2. Участок 1 приурочен к изометричному в плане телу риолитов (λK_2), локализованному в поле вторичных кварцитов в узле пересечения субвулканических глубинных разломов север–северо-восточного простирания и секущих их разломов северо-восточной и северо-западной направленности, здесь отмечаются также фрагменты дуговых кольцевых структур третьего ранга. Участок 2, примыкающий с севера к участку 1, локализован в поле вулканических образований этелькуюмской свиты. В его пределах расположена золотоносная прожилково-жильная зона минерализации “Курок”.

Участок 3, приуроченный к восточному краю Лимгытынтотской палеокальдеры, локализован в центральной части поля субвулканических риолитов (λK_2). По результатам космодешифрирования

здесь выявлена кольцевая структура второго порядка, осложненная разломами различной ориентации. По геологическим данным на площади участка ранее золоторудной минерализации отмечено не было.

Участок 4, характеризуется комплексными аномалиями br, shq и hq, локализован в четырех км. к северо-востоку от оз. Чеутакан. На его площади развиты преимущественно игнимбриты кислого состава амгеньской толщи (K_{1-2} am), присутствуют также вулканогенные образования этелькуюмской (K_{1et}) и экитыкинской свит (K_{2ec}). Здесь имеет место кольцевая структура третьего ранга (стратовулкан), приуроченная к узлу пересечения субмеридионального глубинного разлома с разломом северо-восточного простирания.

Участок 5 расположен в 18 км к юго-западу от рудопоявления “Чумовое” в области преобладающего развития кислых вулканогенных образований амгеньской толщи с присутствием в ряде мест отложений этелькуюмской и экитыкимских свит. На территории участка по результатам геологического картирования масштаба 1 : 200 000 установлены разломы субмеридионального и северо-западного простирания, определяющие блоковое строение этого участка. Вследствие отсутствия на участке субвулканических риолитов он был отнесен ко второй очереди.

Многочисленные очаговые площади развития метасоматитов по результатам анализа съемки ASTER установлены в пределах Гэтэвского рудного узла. Практически все они совпадают с установленными при геологическом картировании проявлениями и пунктами золотой минерализации. Гэтэвское проявление фиксируется крупными ореолами br, shq, hq метасоматитов. Расположенные севернее кварцевые жилы и штокверки проявлений Гатле и Гаганье фиксируются изометричными ореолами br и shq метасоматитов.

За пределами Гэтэвского рудного узла в районе оз. Межгорное (Медвежье) выявлено несколько участков метасоматитов, приуроченных к зоне параллельных субмеридиональных разломов, с которыми связаны известные рудопоявления Аргытгын, Анэлегыргын, Ватыкское и др.

Пепенвеевский рудный узел по данным ASTER также характеризуется рядом площадей развития br и shq метасоматитов. Среди них выделяется собственно Пепенвеевское россыпное месторождение и окружающее его проявления коренного золота. Большинство проявлений контролируются локальными кольцевыми структурами третьего ранга, расположенными в зоне влияния разломов северо-восточного простирания (рис. 4).

Восточнее Пепенвеевского месторождения, в поле развития вулканитов среднего состава, относящихся к этелькуюмской свите, на основании данных ASTER выявлена большая площадь развития вторичных кварцитов. По данным геологического

картирования на этой площади практически нет проявлений и пунктов минерализации золота.

Еще два участка второй очереди (№ 6, 7) выделены на левобережье р. Эргувеем в поле вулканитов этелькуюмской свиты, разбитом на ряд крупных блоков системами разломов северо-восточного и субширотного направления. Севернее Пепенвеевского месторождения выявлена большая область развития br- и shq-метасоматитов. Эта область вытянута в широтном направлении в поле развития кислых вулканитов этелькуюмской свиты. В средней части этой области по геологическим данным и результатам космодешифрирования выявлена серия разломов субмеридионального и северо-восточного простирания, что позволило выделить здесь рудоперспективный участок № 8 второй очереди.

ВЫВОДЫ

На основе изучения Пепенвеевской золоторудной зоны Чукотского полуострова разработаны методы комплексного анализа результатов российской космической съемки высокого разрешения Ресурс-П и Канопус-ПСС, зарубежной космической съемки ASTER, гравиметрической и магнитометрической съемки и выявлены участки перспективные на золото-серебряное оруденение. По результатам космодешифрирования подготовлены структурно-тектонические схемы площади работ и в масштабе 1 : 50 000 намечены участки для детализации с учетом результатов выявления на этих площадях серицит-гидрослюдисто-кварцевых метасоматитов, березитов, пропилитов и вторичных кварцитов; значений ΔT и Δg , благоприятных для локализации оруденения. Показано, что перспективными на обнаружение месторождений вулканогенной золото-серебряной формации являются кольцевые структуры третьего ранга (до 2 км), осложненные разломами преимущественно северо-восточного простирания. На участках детализации в масштабе 1 : 10 000 выявлены дополнительные рудоконтролирующие структурные элементы и элементы фациальной дифференциации рудовмещающих вулканогенных образований. Установлена важная рудоконтролирующая роль узлов пересечения региональных субмеридиональных (север-северо-восточных) разломов с линейными северо-восточного и северо-западного простирания, намечены рудоперспективные участки в пределах номенклатурных листов Q-1-79,81,82.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Государственная геологическая карта. Масштаб 1 : 200 000 (новая серия). Лист Q-1-XXI, XXII. Объяснительная записка // М.: ВСЕГЕИ, 1993. (Министерство геологии СССР, ВСЕГЕИ, ПГО “Сев-востгеология”).
- Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист Q-1-XXIII, XXIV. Объяснительная за-

писка // М.: ВСЕГЕИ, 1977. (Министерство геологии СССР, Северо-Восточное ТГУ).

Кирсанов А.А., Липийäinen К.Л., Смирнов М.Ю., Кирсанов Г.А., Смирнова И.О., Павлова В.О. Выявления площадей, перспективных на золотое оруденение, на основе результатов обработки аэро- и космических гиперспективных данных // ВСЕГЕИ. Региональная геология и металлогения. 2019. № 78. С. 82–90.

Миловский Г.А., Апарин А.Д. Крупномасштабное прогнозирование золотого оруденения в центральной части Чукотского полуострова на основе многозональной космической съемки Ресурс-П (Геотон) и Landsat-7 // Исслед. Земли из космоса. 2022. № 6. С. 27–37. Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. 3. Комплексование работ по прогнозу и поискам золото-серебряных месторождений в вулканогенных поясах // М.: ЦНИГРИ, 1983.

Прогнозно-поисковые комплексы. Вып.13. Комплексование работ по прогнозу и поискам золото-суль-

фидно-кварцевых месторождений в эвгеосинклиналях // М.: ЦНИГРИ, 1984.

Плющев Е.В., Шатов В.В., Кашин С.В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. С. 560. (Труды ВСЕГЕИ, нов. серия, Т. 354).

Смирнова И.О., Кирсанов А.А., Камышникова Н.В. Обзор зарубежных достижений за последние пять лет в области использования мульти- и гиперспектральных спутниковых данных и современных методов их обработки в геологических исследованиях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов) // М.: ИКИ, 2020. Т. 17. № 1. С. 9–27.

JPL (<https://speclib.jpl.nasa.gov/library>).

USGS (<https://crustal.usgs.gov/speclab/QueryAll07a.php>).

Forecasting of Gold-Silver Mineralization within the Pepenveem Ore Zone of the Chukchi Peninsula Based on Space Surveys of Resource, Canopus and ASTER

G. A. Milovsky¹, A. A. Kirsanov², K. L. Lipiyainen², and A. D. Aparin¹

¹Scientific Geographic Information Center of the Russian Academy of Sciences (NGIC RAS), Moscow, Russia

²All-Russian Research Geological Institute A.P. Karpinsky (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

When deciphering the materials of space sensing of the eastern part of the Chukchi Peninsula on a scale of 1 : 50000, structural elements of tectonic-volcanogenic genesis were revealed, represented by linear, arc, annular, zonal-concentric structural elements of various ranks. Ring structures with a diameter of up to 2 km and their dissecting disjunctiva mainly of the north-eastern and submeridional strike control the localization of gold mineralization of the Pepenveem ore-placer zone. On the basis of computer processing of the ASTER infrared satellite image in the Pepenveem zone, the areas of development of hydrothermally altered rocks (berezites, secondary quartzites, sericite-hydrosludic-quartz metasomatites) genetically associated with mineralization were identified. The use of high-resolution satellite imagery in conjunction with geophysical data made it possible, on a scale of 1 : 10000, to identify gold-prospective areas associated with volcanic dome structures, which are characterized by an increased density of lineaments and are associated with the formation of subvolcanic rhyolites.

Keywords: multi-zone space survey, search signs, deposits, gold, silver, Chukotka

REFERENCES

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta. Masshtab 1 : 200000 (novaya seriya). List Q-1-XXI. XXII. Obyasnitelnaya zapiska // М.: VSEGEI, 1993. (Ministerstvo geologii SSSR. VSEGEI. PGO “Sev-vostgeologiya”) (In Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200000. List Q-1-XXIII. XXIV. Obyasnitelnaya zapiska // М.: VSEGEI, 1977. (Ministerstvo geologii SSSR. Severo-Vostochnoye TGU) (In Russian).

JPL (<https://speclib.jpl.nasa.gov/library>).

Kirsanov A.A., Lipiyaynen K.L., Smirnov M.Yu., Kirsanov G.A., Smirnova I.O., Pavlova V.O. Vyavleniya ploshchadey. perspektivnykh na zolotoye orudneniye. na osnove rezultatov obrabotki aero – i kosmicheskikh giperstpektivnykh dannykh // VSEGEI. Regionalnaya geologiya i metallogeniya 2019. № 78. P. 82–90. (In Russian).

Milovskiy G.A., Aparin A.D. Krupnomasshtabnoye prognozirovaniye zolotogo orudneniya v tsentralnoy chasti Chukotskogo poluostrova na osnove mnogozonalnogo kosmicheskoy syemki Resurs-P (Geoton) i Landsat-7 // Issledovaniye Zemli iz kosmosa. 2022. № 6. P. 27–37. (In Russian).

Prognozno-poiskovyye komplekсы. Vyp. 3. Kompleksirovaniye rabot po prognozu i poiskam zoloto-serebryanykh mestorozhdeniy v vulkanogennykh poiyasakh // М.: TsNIGRI, 1983. (In Russian).

Prognozno-poiskovyye komplekсы. Vyp.13. Kompleksirovaniye rabot po prognozu i poiskam zoloto-sulfidno-kvartsevyykh mestorozhdeniy v evgeosinklinalyakh // М.: TsNIGRI, 1984. (In Russian).

Plyushchev E.V., Shatov V.V., Kashin S.V. Metallogeniya gidrotermalno-metasomaticheskikh obrazovaniy // SPb.: VSEGEI, 2012. P. 560. (Trudy VSEGEI. nov. seriya. T. 354) (In Russian).

Smirnova I.O., Kirsanov A.A., Kamyshnikova N.V. Obzor zarubezhnykh dostizheniy za posledniye pyat let v oblasti ispolzovaniya multi- i giperspektralnykh sputnikovyykh dannykh i sovremennykh metodov ikh obrabotki v geologicheskikh issledovaniyakh // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (fizicheskiye osnovy. metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy. potentsialno opasnykh yavleniy i obyektov) // М.: IKI, 2020. Т. 17. № 1. P. 9–27. (In Russian).

USGS (<https://crustal.usgs.gov/speclab/QueryAll07a.php>).