

---

---

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ**

---

---

**КРУПНОМАСШТАБНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ  
ЧУКОТСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА ОСНОВЕ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ  
КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ  
РЕСУРС-П (ГЕОТОН) И LANDSAT-7**

© 2022 г. Г. А. Миловский<sup>а</sup>, \*, А. Д. Апарин<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Научный геоинформационный центр РАН (НГИЦ РАН), Москва, Россия

\*E-mail: oregas@mail.ru

Поступила в редакцию 28.06.2022 г.

При дешифрировании материалов многозональной космической съемки Ресурс-П (Геотон) и Landsat-7 в центральной части Чукотского полуострова (Q-1-XV, XVI) выявлены структурные элементы тектоно-вулканогенного генезиса, представленные разновозрастными линейными, дуговыми, кольцевыми, зонально-концентрическими линеаменами различного ранга. Показана важная роль кольцевых структур и секущих их дизъюнктивов преимущественно северо-восточного и субмеридионального простирания для локализации золотого оруденения. Применение космической съемки высокого разрешения позволило наметить золотоперспективную площадь Эргувеем-1, которая характеризуется повышенной плотностью линеаментов и субвулканических интрузий.

*Ключевые слова:* многозональная космическая съемка, поисковые признаки, месторождения золота

**DOI:** 10.31857/S0205961422060070

## ВВЕДЕНИЕ

Дешифрированию материалов космической съемки по той или иной территории всегда предшествует изучение результатов геологического картирования и ознакомление с имеющейся информацией по вещественному составу пород, представленных на данной территории. Обработка результатов дистанционного зондирования при поисках полезных ископаемых определенного геолого-промышленного типа включает учет имеющейся системы поисковых признаков оруденения данного типа, применяемых при исследованиях различного уровня: от мелкомасштабных 1 : 1 000 000–1 : 500 000 (рудных районов), среднемасштабных 1 : 200 000–1 : 100 000 (рудных узлов), крупномасштабных 1 : 50 000–1 : 25 000 (рудных полей), до детальных 1 : 10 000–1 : 5 000 (месторождений). Анализ проявленности на космических снимках известных прогнозно-поисковых критериев и признаков оруденения конкретного генетического типа позволяет с одной стороны оценить эффективность их использования при прогнозно-поисковых работах, а с другой стороны, стимулирует развитие новых способов обработки космической информации для выявления этих

критериев и признаков (Прогнозно-поисковые, 1983; Прогнозно-поисковые, 1984; Смирнова, 2020). Материалы дистанционного зондирования позволяют на основе линеаментного анализа проводить независимую оценку пространственного местоположения основных структурных элементов, выявленных на основании как мелкомасштабной, так и крупномасштабной геологической съемки. В ряде случаев в некоторых спектральных каналах можно выявить новые дизъюнктивы, не отображенные на геологической карте. На мелкосреднемасштабном уровне это могут быть как линейные, так и кольцевые зонально-концентрические линеаменты, фиксирующие вулканотектонические (депресссионные и купольные) структуры и осложняющие их дуговые и радиальные разломы. На крупномасштабном и детальном уровне обладающая генерализующим эффектом космическая съемка позволяет (на основе использования ГИС) по-новому оценить расположение отдельных рудных полей и месторождений относительно выявленных в результате дешифрирования рудоконтролирующих систем линеаментов и вещественно-структурных комплексов. На космических снимках хорошо проявляются

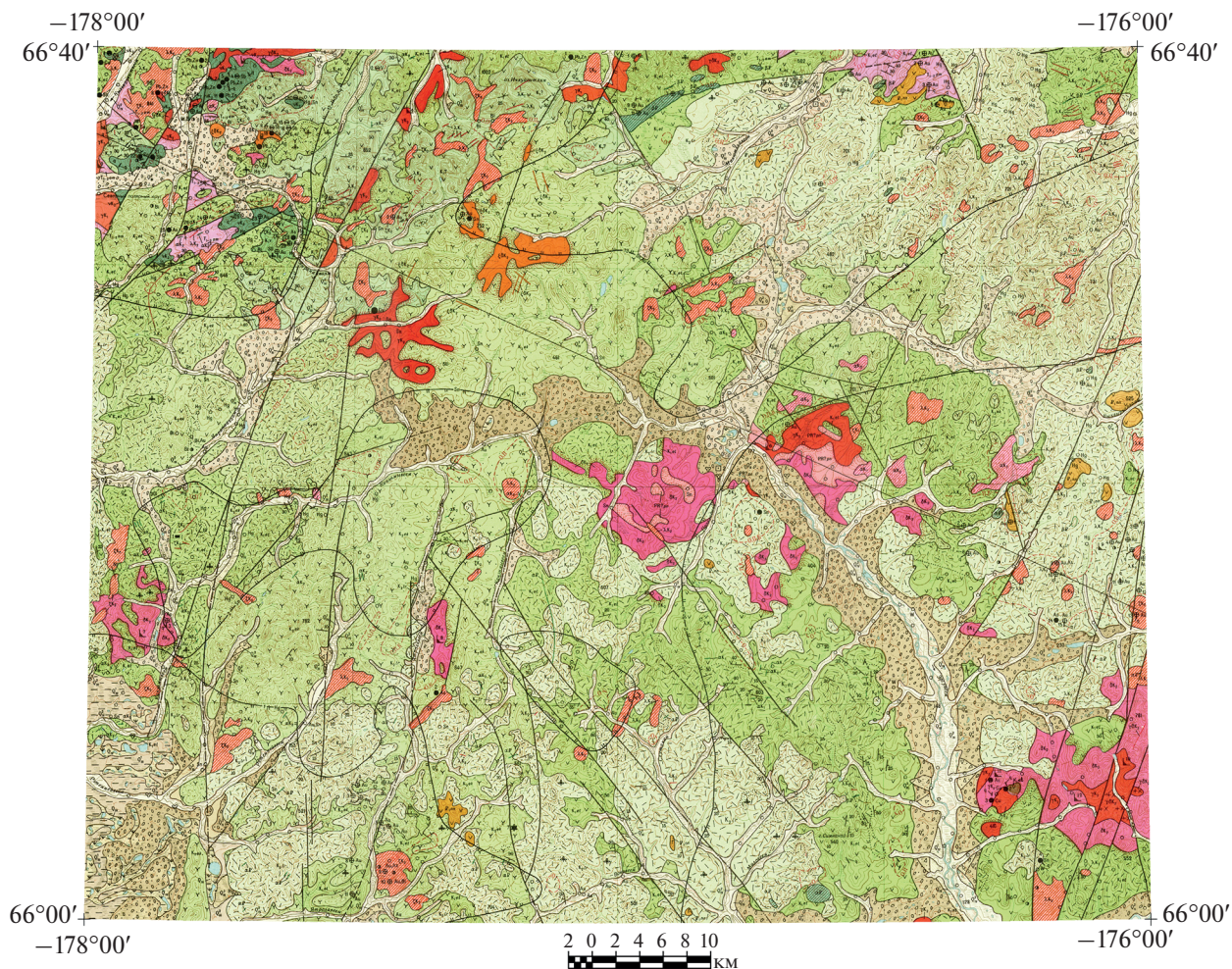


Рис. 1. Карта полезных ископаемых Q-1-XV, XVI.

линейные зоны трещиноватости различной ширины и протяженности, которые фиксируют флексурные изгибы и разломы фундамента. Материалы космической съемки, геолого-геофизические и топографические карты (масштабов 1 : 1 000 000–1 : 200 000) представлены в среде ArcGIS ver. 10, обработка космоданных проводилась с помощью программных средств ENVI и Adobe Photoshop. Дешифрирование на мелко-среднемасштабном уровне осуществлялось на основе разновременной космической съемки Landsat-7 (каналы: 3, 4, 5, 7); на крупномасштабном и детальном уровне – с помощью многозональной космической съемки Ресурс-П (каналы: 10, 21, 22, 23, 33), выполненной 17.07.2015 г. (виток 1564, включение 1).

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАБОТ

Основную роль в геологическом строении исследуемой территории (рис. 1, 2) играют вулканогенные образования мелового возраста и туфогенно-терригенные отложения триаса (Государственная, 1983; Государственная, 2001). Отложения амгуэмской свиты ( $T_{1-2am}$ ) представлены толщей переслаивающихся глинистых сланцев, алевролитов и песчаников, на нее несогласно налегают вулканогенные образования этелькуюмской свиты. Этелькуюмская свита ( $K_{1et}$ ) является наиболее сложно построенной и в значительной степени фациально изменчивой как по простиранию, так и по вертикали. На северо-западе и севере территории в основании свиты лежат туфогенно-осадочные и туфогенные образования, верхняя часть разреза сложена вулканогенными образова-

И ПРОЯВЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

| Полезные ископаемые | Непрямые признаки месторождения | Проявления полезных ископаемых |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Каменный уголь      |                                 | ■                              |
| Мель                |                                 | ● Cu                           |
| Свинец и шпик       |                                 | ● Pb, Zn                       |
| Олово               |                                 | ● Sn                           |
| Мышьяк              |                                 | ● As                           |
| Вольфрам            |                                 | ● W                            |
| Ванадий             |                                 | ● V                            |
| Сурьма              |                                 | ● Sb                           |
| Золото              |                                 | ● Au                           |
| Песок строительный  | □                               |                                |
| Поделочные камни    |                                 | ★                              |

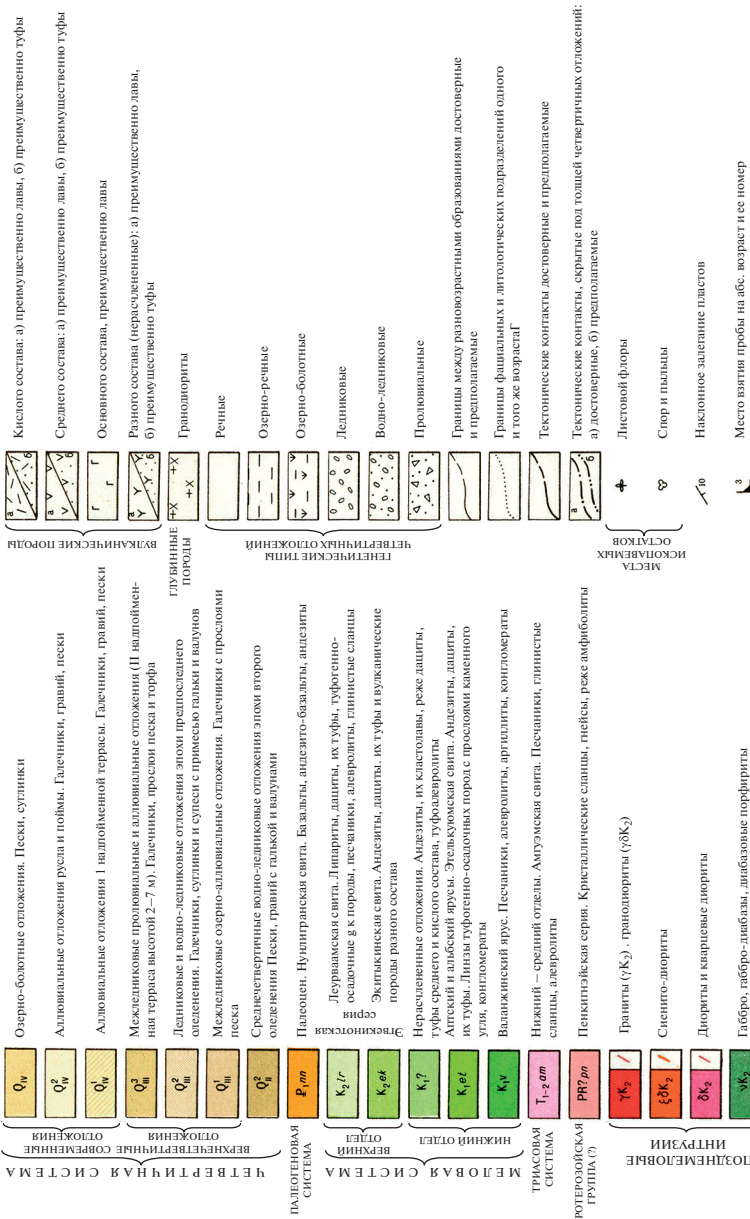


Рис. 2. Условные обозначения к рис. 1 и 4.

ниями кислого и среднего состава. В бассейне Эргувеема свита представлена туфами и лавами: в нижних горизонтах преобладают породы кислого состава (дацитовая толща), в верхних – среднего состава. Комплекс собранной ископаемой флоры указывает на альбский возраст включающих ее отложений. Мощность этелькуюмской свиты на рассматриваемой территории составляет 800–900 м.

Вулканогенные образования, отнесенные к верхнему отделу меловой системы, расчленены на экитыкинскую и леурваамскую свиты. Отложения экитыкинской свиты (*K<sub>2</sub>ek*) распространены в центральной и юго-западной частях района и представлены андезитами, переслаивающимися с туфами андезитового и дацитового состава. Мощность экитыкинской свиты изменяется от 100 до 700 м. К леурваамской свите (*K<sub>2</sub>lr*) отнесены кайнотипные эффузивы и туфы кислого состава. Они залегают с угловым несогласием на вулканогенных образованиях этелькуюмской свиты и с локальными размывами – на андезитах и туфах экитыкинской свиты. Леурваамская свита сложена разнообразными туфами кислого состава, переслаивающимися с дацитами, игнимбридами и кластолавами дацитового состава. Лавовые горизонты преобладают в верхней части разреза. Нижняя граница свиты проводится по смене андезитов и туфов среднего состава, этелькуюмской и экитыкинской свит туфогенно-осадочными породами с отпечатками позднемеловых растений. Мощность леурваамской свиты составляет 700–1400 м. Палеогеновые андезито-базальты нунлигранской свиты (*P<sub>1</sub>nn*) мощностью от 20 до 150 м распространены в бассейне Чеутакана, на левобережье Ятролявеема и в верховьях Милютхэйвеема.

Интрузивные образования занимают около 10% площади Q-1-XV, XVI. Выделяются два интрузивных комплекса: к раннемеловому комплексу отнесены интрузивные тела, сложенные преимущественно гранитами; позднемеловой комплекс представлен габбро-диабазами, сиенито-диоритами, диоритами, кварцевых диоритами и гранодиоритами. Субвулканические тела и дайки подразделяются на раннемеловые, позднемеловые и палеогеновые. Раннемеловые субвулканические образования представлены некками, штоками и дайками андезитов, дацитов и риолитов. Почти все они расположены в северо-западной части территории листа и приурочены к выходам триасовых и нижнемеловых отложений, небольшое количество даек андезитов установлено также на правобережье Эргувеема среди пород этелькуюмской свиты. Позднемеловые субвулканические риолиты, дациты и андезиты пользуют-

ся широким распространением в районе. Площадь субвулканических тел обычно 0.2–2.0 км<sup>2</sup>, реже до 10 км<sup>2</sup>. Длина даек 0.3–2.0 км, мощность даек 1–10 м. Падение контактов штоков и некков, а также залегание даек крутое, часто вертикальное. Риолиты слагают многочисленные некки и дайки, распространенные среди полей верхнемеловых эффузивно-туфовых образований. Субвулканические тела дацитов наиболее распространены на северо-западе территории, андезитами сложены субвулканические штоки, некки и дайки на левобережье Эргувеема, в бассейнах Чеутакана и Канэнмывеема. К палеогену отнесены дайки и субвулканические тела андезито-базальтов, встречающиеся среди образований леурваамской свиты.

Золото-серебряное и ртутное оруденение локализуется, как правило, вблизи вулканических аппаратов и в пределах ослабленных зон с широко проявленными процессами гидротермального изменения. К субвулканическим телам приурочены зоны развития пропилитизации, каолинизации, пиритизации, серицитизации и вторичных кварцитов. Гидротермальным изменениям подвергались как субвулканические тела, так и вмещающие их вулканогенные породы кислого состава. К гидротермально измененным породам нередко приурочены кварцевые жилы и прожилки с золотом. В пределах исследуемого района наиболее обширная зона гидротермально измененных пород установлена в его восточной части, здесь на площади более 40 км<sup>2</sup> породы верхнего мела каолинизированы, окварцованы и пиритизированы, с этой площадью связаны многочисленные проявления золота и ртути. На исследуемой территории широко распространены разрывные нарушения северо-восточного, северо-западного и субмеридионального направления. По данным геологосъемочных работ большинство разломов четко фиксируется на местности по зонам дробления и гидротермального изменения пород, по смещению геологических границ по линиям разрывов и по другим признакам. Большинство разрывных нарушений являются сбросами, имеют крутое (70–85°) и вертикальное падение. Амплитуда перемещения по ним для протяженных разломов 200–500 м, для коротких 20–50 м. Большинство разломов долгоживущие, что подтверждается залеганием разновозрастных магматических образований в сбрасывающей трещине дизъюнктивов, а также наличием здесь дробленных даек и кварцевых жил.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Дешифрирование материалов космической съемки в видимой и инфракрасной области спектра позволило выяснить следующие особенности структурно-тектонической позиции исследуемой площади. Площадь работ отличается неравномерным развитием дизъюнктивных и пликативных элементов, которые контролируют размещение магматических тел и определяют границы структурных блоков. Выявленные при дешифрировании элементы представлены разновозрастными линейными, дуговыми, кольцевыми, зонально-концентрическими структурами размером от 1 до 80 км (рис. 3). Можно выделить региональные структуры первого ранга, включающие кольцевые структуры диаметром 11–20 км и линейные структуры протяженностью от 11 до 80 км; линейные и кольцевые структуры второго ранга размером 5–10 км; а также структуры третьего ранга, представленные линейными и кольцевыми линеаменами протяженностью менее 5 км.

По времени заложения разрывные нарушения можно разделить на две группы: разломы, заложившиеся до позднемеловой эпохи и разломы, заложившиеся в позднемеловое – палеогеновое время. К первой группе относятся крупные разломы первого ранга северо-восточного простирания, имеющие глубокое заложение, а также отдельные разрывные нарушения, выделенные по геофизическим данным. Крупным разрывным нарушением является Милютхэйвеемский разлом северо-восточного простирания, расположенный на севере исследуемой площади. В границах исследуемого района Милютхэйвеемский разлом имеет протяженность 60 км и характеризуется концентрацией интрузивных тел мелового и палеогенового возраста. Второй крупный разлом северо-восточного простирания протяженностью 80 км выявлен по результатам космодешифрирования в южной части площади работ, к нему приурочена серия кольцевых структур различного ранга.

Образование второй группы разрывных нарушений связано с формированием и развитием структур вулканогенного пояса. Эти разрывные нарушения, представленные разломами первого и второго ранга северо-западного и субмеридионального простирания, пересекают все вулканогенные и интрузивные образования раннего и

позднего мела и заложены, по-видимому, в начале позднемеловой эпохи, когда начали обособляться вулcano-тектонические поднятия и Рэтемнейвеемский грабен. Рэтемнейвеемская и Ятролявеемская зоны разломов, расположенные на юго-западе района, представляют собой ряд разрывных нарушений субмеридионального простирания протяженностью 20–30 км. Чеутаканская зона разломов, расположенная в бассейне руч. Чеутакан, представляет собой систему разрывных нарушений северо-западного направления протяженностью до 15 км. Амплитуда вертикального перемещения по разрывным нарушениям невелика и колеблется от 10 до 100 м. Эргувеемская зона разрывных нарушений находится у юго-восточных границ района и проявляется в виде серии сближенных разломов субмеридионального простирания, протяженностью до 20 км. В сбрасывающих трещинах разломов этой зоны нередко залегают тела позднемеловых субвулканических интрузивов и палеогеновые дайки. Амплитуда вертикальных блоковых смещений здесь обычно не превышает 100–150 м. Все разрывные нарушения второй группы являются разломами неглубокого заложения.

Большинство непротяженных разломов третьего ранга образовалось в результате воздействия интрузивов, просадок вулканических построек и других локальных тектонических напряжений. Часть этих разрывных нарушений образовалась в результате блоковых смещений по разломам более глубокого заложения, фиксируемых по геофизическим данным. Образование протяженных разрывных нарушений первого ранга субмеридионального простирания связано также с неотектонической активностью неоген-четвертичного времени. В результате блоковых опусканий по разрывам этого направления сформировалась неотектоническая впадина Залива Креста, на юго-западе исследуемой площади.

Крупные кольцевые структуры первого ранга на площади работ представлены двумя основными формами: положительные кольцевые структуры, которые фиксируют вулcano-тектонические поднятия, сформированные при внедрении интрузивов верхнемелового возраста и отрицательные кольцевые структуры, которые представляют собой вулcano-тектонические депрессии выполненные отложениями леурваамской свиты. Примером положительных структур, возникших при внедрении верхнемеловых диоритов и гранитов, являются кольцевые структуры массивов Верхне-Эргувеемский и Южный. Примером вулcano-текто-

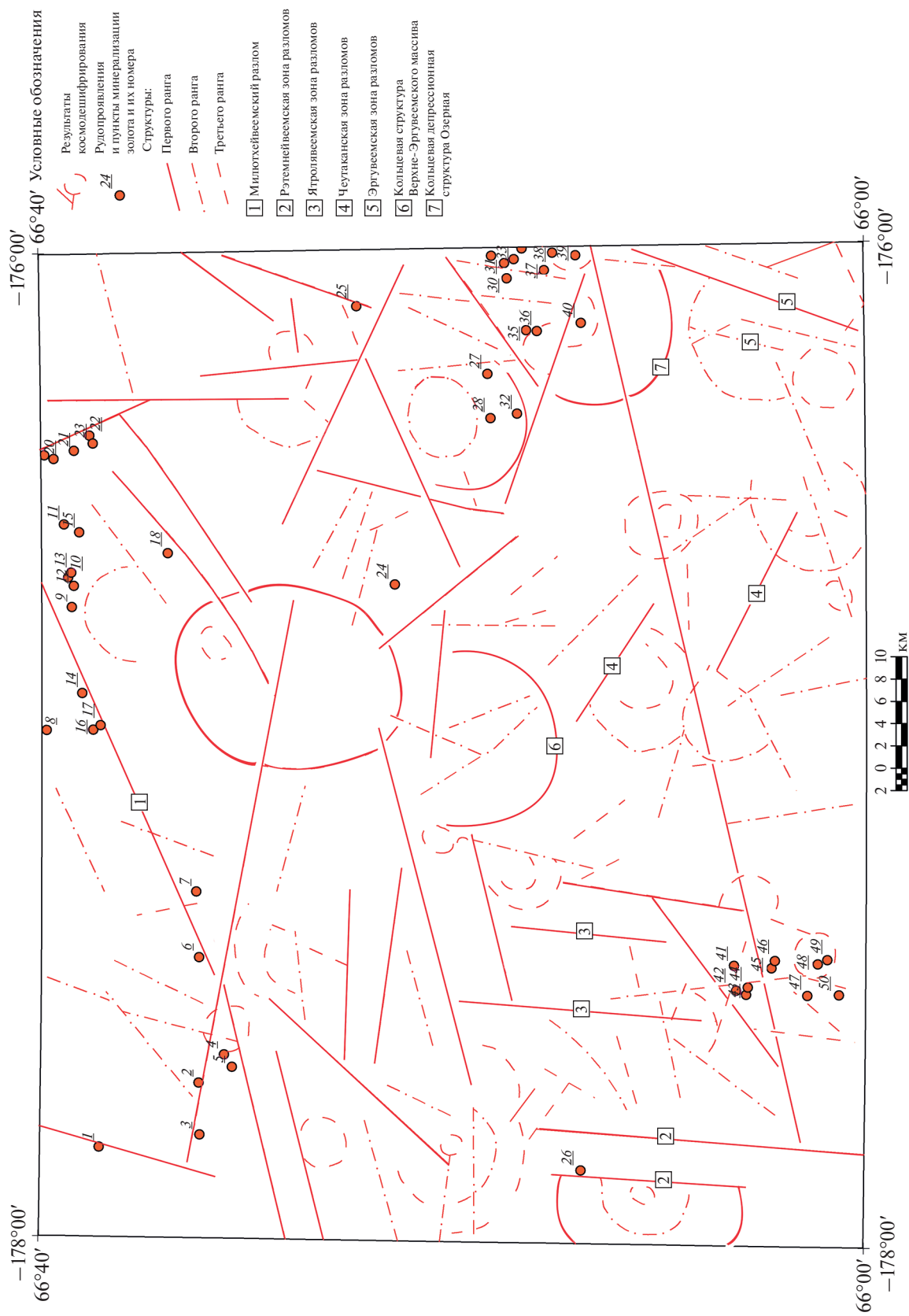


Рис. 3. Результаты космошифрования по площади Q-1-XV, XVI.



крупных тел диоритов и субвулканических андезитов.

Кольцевые структуры второго и третьего ранга также имеют различную природу, некоторые из них связаны с формированием субвулканических тел и проявлений эффузивной активности в верхнемеловое и палеогеновое время. Например, в южной части площади работ в долине руч. Ятролявеем дешифрируется кольцевая вулкано-купольная структура диаметром 4 км, сложенная субвулканическими дацитами, внедрившимися в образования этелькуюмской свиты. Кольцевые структуры второго и третьего ранга образуют линейно-вытянутые цепочки, что отражает их приуроченность к скрытым глубинным разломам.

На территории листа Q-1-XV, XVI известно около 50 рудопроявлений золота. Большинство золоторудных проявлений локализуется в верховьях Милютхэйвеема, Ятролявеема и на левобережье Эргувеема. Проявления коренного золота локализованы в центральных или периферических частях кольцевых структур второго и третьего ранга, в узлах пересечения разломов северо-восточного и субмеридионального простирания, приурочены к участкам сочленения положительных и отрицательных вулканоструктур. Золоторудные проявления локализируются среди меловых вулканогенных образований этелькуюмской ( $K_1et$ ), экитыкинской ( $K_2ek$ ) и леурваамской ( $K_2lr$ ) свит на участках площадного и линейного гидротермального изменения пород (пропилитизации, окварцевание, аргиллизация), особенно интенсивного вблизи субвулканических тел и в зонах сближенных разрывных нарушений. Повышенные содержания золота установлены в кварцевых жилах и иногда в зонах метасоматически измененных пород, представленных гидротермальными кварцитами, обычно вмещающими кварцевые жилы. Золотоносные кварцевые жилы нередко имеют сложную морфологию при мощности от 0.1 до 1.5 м и длине от 50 м до первых сотен метров.

При прогнозировании золото-серебряных месторождений в северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса следует учитывать результаты изучения крупнейшего в регионе месторождения Купол. Согласно имеющимся данным (Волков, 2011) формирование рудной зоны этого месторождения контролируется мощной и протяженной дайкой риолитов (более 4 км), подобная структурная ловушка определяет бонанцевый характер и значительный вертикальный и латеральный размах эпitherмального золото-серебряного оруденения. Мощность рудовмещающей полости достигает 22 м, отмечается широкое развитие эксплозивных брекчий в рудных телах с кокардовым обрастанием рудным агрегатом обломков различного состава.

На исследуемой площади Q-1-XV, XVI наиболее крупный ореол рассеяния золота охватывает бассейн верхнего и среднего течения Эргувеема. Золото установлено здесь, в аллювиальных отложениях всех водотоков. Размеры зерен золота 0.3–0.5 мм; форма их комковатая, дендритовидная, пластинчатая, окатанность чаще всего плохая. Последнее свидетельствует о пространственной близости коренного источника золота. На левобережье Эргувеема золото обнаружено в кварцевых жилах и зонах вторичных кварцитов, залегающих среди туфов леурваамской и этелькуюмской свит, прорванных субвулканическими риолитами и подвергшихся гидротермальному изменению. Большинство кварцевых жил и наиболее интенсивные гидротермальные изменения приурочены к экзоконтактным зонам субвулканических интрузивов и разломам северо-восточного простирания. Кварцевые жилы имеют протяженность 50–100 м при мощности до 1.5 м, зоны окварцованных и каолинизированных туфов имеют протяженность первые сотни метров при мощности до 50 м.

С учетом изложенного выше на левобережье руч. Эргувеем была выбрана площадь детализации Эргувеем-1 (рис. 4), локализованная в приобортовой части вулканотектонической депрессии, в области сочленения последней с локальной вулкано-купольной структурой зонально-концентрического строения, расположенной к северо-западу от верховьев ручья Песцовый. Данная площадь отличается повышенной плотностью линейных и дуговых линеаментов (рис. 5), которые могут представлять собой синвулканические разломы и зоны трещиноватости благоприятные для локализации прожилково-вкрапленного и жильного оруденения. На этой площади в масштабе 1 : 10000 выявлен золотоперспективный участок Эргувеем-1А, который локализован в поле риолитовых туфов леурваамской свиты и характеризуется развитием северо-восточных и северо-западных разломов сбросо-сдвигового типа. В пределах участка рекомендовано по десяти профилям (рис. 6) провести исследование зон развития вторичных кварцитов, пропилитизации, аргиллитизации; выявить кварцевые жилы и гидротермально измененные субвулканические тела, провести их опробование на Au и Ag.

## ВЫВОДЫ

В результате комплексной обработки материалов космического зондирования центральной Чукотки составлена структурно-тектоническая схема листа Q-1-XV, XVI и получены новые данные о геологическом строении исследованной территории. Выявленные при дешифрировании





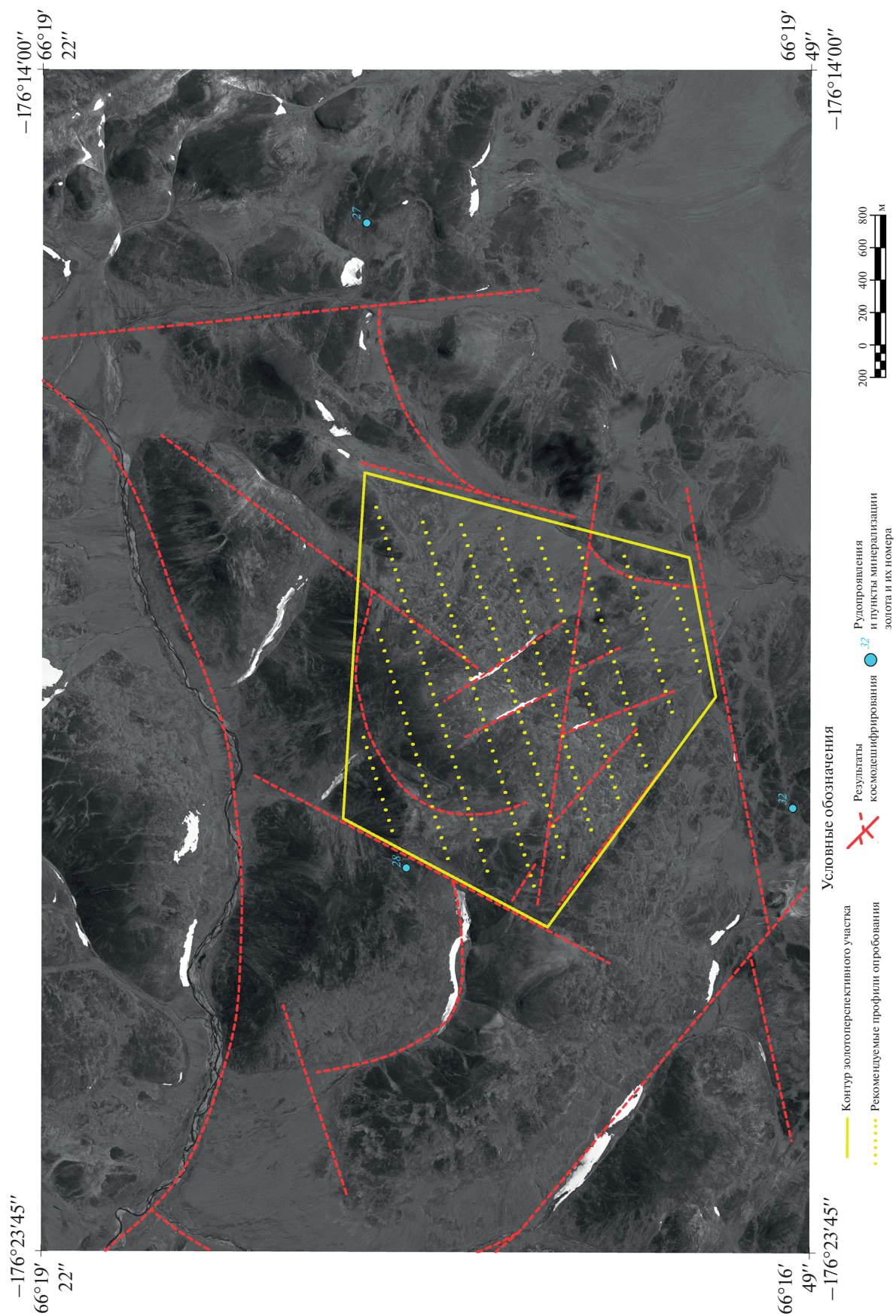


Рис. 6. Результаты космодешифрирования Ресурсе-П (1564\_1) по золотоперспективному участку Эргувеем-1А.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Волков А.В., Сидоров А.А.* Au–Ag месторождения вулканогенных поясов – основа создания новых горнорудных районов на Северо-Востоке России // Золото и технологии. 2011. № 4. С. 6–16.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. М. 1 : 100000 (Новая серия). Лист Q-60, 1 – Анадырь. Объяснительная записка. С.-Пб.: ВСЕГЕИ, 2001.

Государственная геологическая карта СССР. М. 1 : 200000. Серия Чукотская. Объяснительная записка. Лист Q-1-XV, XVI. Мингео СССР. М.: 1983.

Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. 3. Комплексование работ по прогнозу и поискам золото-сереб-

ряных месторождений в вулканогенных поясах. М.: ЦНИГРИ, 1983.

Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. 13. Комплексование работ по прогнозу и поискам золото-сульфидно-кварцевых месторождений в эвгеосинклиналях. М.: ЦНИГРИ, 1984.

*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). 2020. Т. 17. № 1. С. 9–27.

## Large-Scale Forecasting of Gold Mineralization in the Central Part the Chukchi Peninsula Based on Multi-Zone Satellite Imagery “Resource-P” (Geotone) and Landsat-7

G. A. Milovsky<sup>1</sup> and A. D. Aparin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geographic Information Center RAS, Moscow, Russia

When deciphering the materials of the multi-zone satellite survey of Resurs-P (geoton) and Landsat-7 in the central part of the Chukchi Peninsula (Q-1-XV,XVI), structural elements of tectonic-volcanogenic genesis were revealed, represented by linear, arc, annular, zonal-concentric lineaments of various ranks of different ages. The important role of ring structures and their dissecting disjunctiva, mainly of the north-eastern and submeridional strike, for the localization of gold mineralization is shown. The use of high-resolution satellite imagery allowed us to outline the gold-prospective area of Erguveim-1, which is characterized by an increased density of lineaments and subvolcanic intrusions.

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

## REFERENCES

*Volkov A.V., Sidorov A.A.* Au-Ag mestorozhdeniya vulkanogennykh pojasov – osnova sozdaniya novykh gornorudnykh rayonov na Severo-Vostoke Rossii // Zoloto i tekhnologii. 2011. № 4. P. 6–16. (In Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. M. 1 : 100000 (Novaya seriya). List Q-60, 1 – Anadyr'. Ob'yasnitel'naya zapiska. St. Petersburg, VSEGEI, 2001. (In Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR. M. 1 : 200000. Seriya Chukotskaya. Ob'yasnitel'naya zapiska. List Q-1-XV, XVI. Mingeo SSSR. M.: 1983. (In Russian).

Prognozno-poiskovyie komplekсы. Vyp. 3. Kompleksirovaniye rabot po prognazu i poiskam zoloto-serebryanykh

mestorozhdeniy v vulkanogennykh pojasakh. M.: TSNI-GRI, 1983. (In Russian).

Prognozno-poiskovyie komplekсы. Vyp. 13. Kompleksirovaniye rabot po prognazu i poiskam zoloto-sul'fidno-kvartsevykh mestorozhdeniy v evgeosinklinalyakh. M.: TSNI-GRI, 1984. (In Russian).

*Smirnova I.O., Kirsanov A.A., Kamyshnikova N.V.* Obzor zarubezhnykh dostizheniy za posledniye pyat' let v oblasti ispol'zovaniya mul'ti- i giperspektral'nykh 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, potentsial'no opasnykh yavleniy i ob'yektov). 2020. V. 17. № 1. P. 9–27. (In Russian).