

М. Ю. Нилов, С. Н. Юдин, Л. В. Кулешевич

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ ПРИГРАНИЧНОЙ ПЛОЩАДИ ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА ЯЛОНВАРА – ХАТТУ – ТУЛОС

Геологические работы в северной части зеленокаменного пояса Ялонвара – Хатту – Тулос (участок Приграничный Северный) проводились Карельской ГЭ с 1999 по 2005 г. под руководством С. Н. Юдина и Г. В. Власова (Юдин, 2004), геофизические исследования осуществлялись под руководством В. П. Сазонова при непосредственном участии М. Ю. Нилова. Петрографическая характеристика пород была выполнена Л. В. Кулешевич.

Геологическое строение участка Приграничный Северный и корреляция с финской территорией

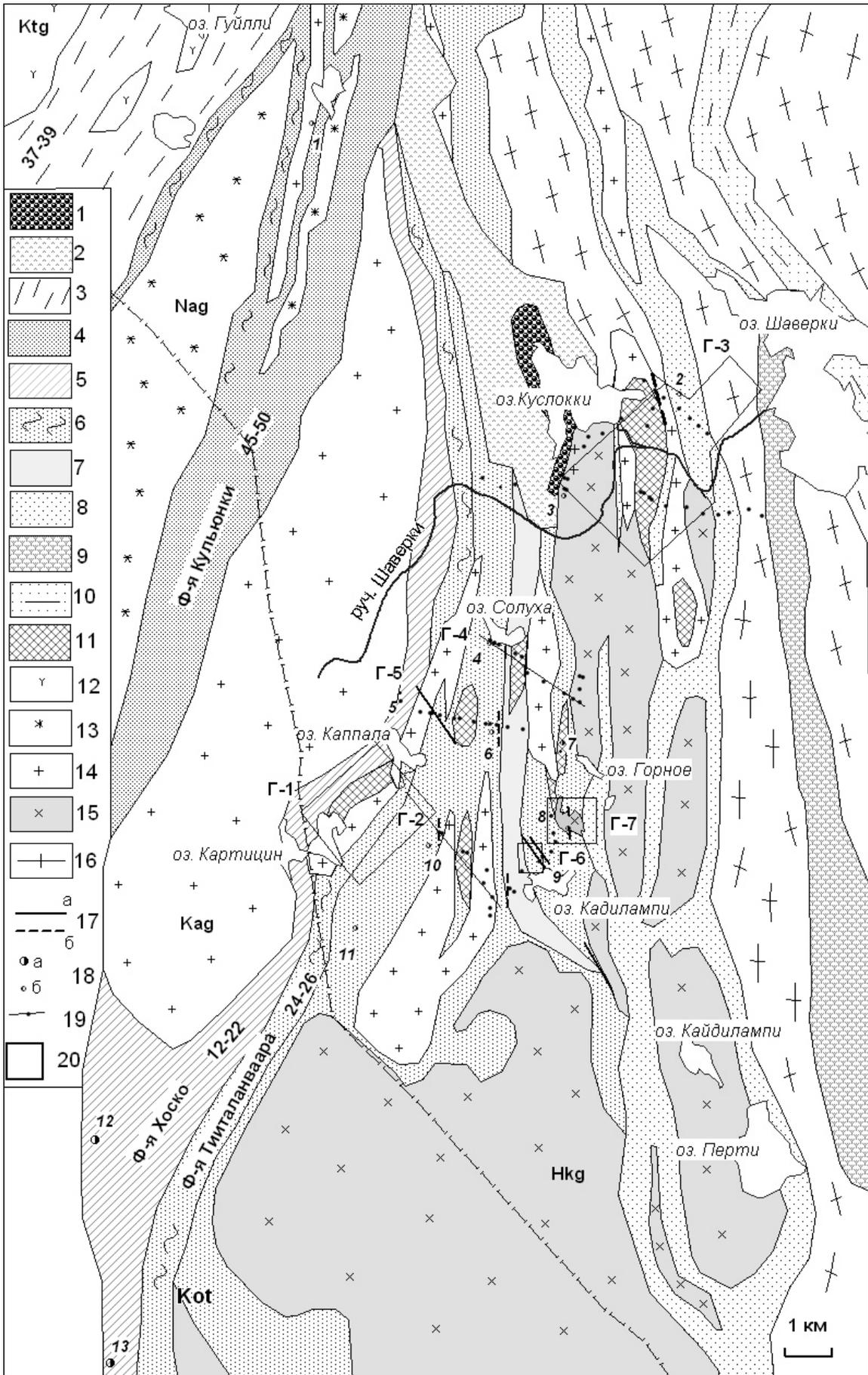
Исследования геологического строения южной части зеленокаменного пояса (Ялонварской структуры), магматизма и оруденения проводились геологами КГЭ, ПГО «Севзапгеология», ВСЕГЕИ и ИГ КарНЦ – Л. Н. Потрубович, О. Н. Анищенко-вой, В. Е. Поповым, В. И. Робоненом, С. И. Рыбаковым, В. И. Иващенко и др. Северная приграничная территория оказалась практически не изученной. Эта площадь была охвачена наземной гравиметрической съемкой масштаба 1 : 200 000 (Беда и др., 1973) и аэрогеофизическими (магнитной и аэрогамма-спектрометрической) съемками масштаба 1 : 50 000 (Баранов, 1997). В результате этих съемок были созданы гравиметрическая и магнитная цифровые основы, обеспечивающие последую-

щие геолого-геофизические исследования.

Ялонварский зеленокаменный пояс простирается от оз. Янисъярви в СЗ направлении на финскую территорию и соединяется с поясом Хатту (Geological development..., 1993). В северной части на широте оз. Севьярви зеленокаменные толщи пояса Хатту вновь прослеживаются на территорию Карелии и тянутся до оз. Куслокки, где имеют близкое к субмеридиональному простираение (рис. 1). Карельской ГЭ на северной приграничной площади выполнялись картировочные (ГДП-200) и прогнозно-поисковые работы на золото. Комплекс выполненных здесь работ включал геологические маршруты, геофизические исследования (магнито-разведка, электроразведка ВП и ВЭЗ), геохимическое опробование моренных и коренных отложений, донное и шлиховое опробование, проходку шурфов, канав, скважин. В результате геолого-геофизических работ были откартированы фрагменты зеленокаменной структуры, на основе которых построена геологическая карта (рис. 1). На основании наблюдений по обнажениям и скважинам в геологическом строении верхнелопийских толщ в зеленокаменном поясе (в том числе в его северной части) в объеме ялонварской свиты были выделены в средней части разреза метаморфизованные андезибазальты, вулканогенно-осадочные кислая и средняя толщи, нижняя и верхняя базальтовая

Рис. 1. Схема геологического строения участка Приграничный Северный (составлена на основе карты С. Н. Юдина, КГЭ):

вмещающие комплексы: 1 – кварциты, кварцевые конгломераты (PR₁, jt); 2 – андезибазальты (PR₁, sg); 3 – нерасчлененные сланцы по осадкам (AR₂, lp) (коррелируется с формацией 37–39, Geological development..., 1993; здесь и далее), 4 – полевошпат-сланцевые сланцы с прослоями магнетит-гранат-грюнеритовых (формация Кульюнки, 40–50), 5 – metabазальты и слюдисто-полевошпатовые сланцы по вулканогенно-осадочным породам (формация Хоско, 12–22); 6 – гранат-магнетит-грюнеритовые сланцы, полимиктовые конгломераты, слюдистые сланцы (формация Тинталанваара, 24–26), 7 – базит-ультрабазитовая толща, 8 – слюдисто-полевошпатовые и биотит-амфиболовые сланцы, конгломераты, 9 – нерасчлененная сланцево-амфиболитовая толща, 10 – гранатсодержащие гнейсы, 11 – щелочные метасоматиты с магнетитом. Интрузивные комплексы: 12 – субщелочные гранодиориты и монцодиориты (Ktg – комплекс Койтери); 13 – лейкограниты, пегматиты (Nag – комплекс Наарва); 14 – К-граниты (граниты Картица); 15 – тоналиты и гранодиориты (Kot – биотитовые тоналиты, Hkg – гранодиориты Хойкан Килкайнен); 16 – нерасчлененные граниты и мигматит-граниты, гранито-гнейсы; 17 – дайки: а – габбро-долериты (PR₁); б – ультрабазиты (AR₂); в – метагаббро, габбро-пироксениты (AR₂). 18 – месторождения (а) и проявления (б) золота (1 – Киви, 2 – Шаверки, 3 – Куслокки, 4 – Солуха, 5 – С-65, 6 – С-52, 7 – Горное, 8 – Кадиламп-2, 9 – Кадиламп-1, 10 – Каппала, 11 – Нартычаара, 12 – Валкеасуо). 19 – скважины и профили; 20 – участки детальных геофизических работ (Г-1 – Каппала, Г-2 – Каппала – Кадиламп, Г-3 – Шаверки, Г-4 – Солуха, Г-5 – Каппала – Горное, Г-6, Кадиламп-2, Г-7 – Кадиламп-1)



и вышезалегающая туфогенно-осадочная (сланцевая) толщи. Лопийский комплекс участка Приграничный Северный перекрывается сариолийскими и ятулийскими отложениями небольшой протерозойской структуры у оз. Куслонки. Протерозойские отложения представлены вариолитовыми базальтами, андезитобазальтами, конгломератами, кварцитами и сланцами. В пределах этой площади лопийские толщи имеют СВ и субмеридиональное простирание, крутое падение к востоку или западу и слагают узкие вытянутые ветви структуры, прорванные гранитоидами. Породы мигматизированы, деформированы, рассланцованы, первичная их природа не всегда бывает ясна.

Исследования финских геологов позволяют нам провести корреляцию северной приграничной площади с лопийскими образованиями более хорошо изученной территории зеленокаменного пояса Хатту в Финляндии по доменам Кульюнки и Хоско в северной части пояса и домена Пампало – в северо-восточной (табл. 1). Следует отметить также и то, что корреляция между литологическими группами пород северной и южной частей самого пояса Хатту не всегда выдержана. Возраст вмещающих толщ, представленных литотипами формаций Тииталанваара и Сиваккоеки, установлен для южной части пояса и равен 2761 и 2754–2744 млн лет (Geological development..., 1993).

Северная ветвь зеленокаменного пояса включает формации Сиваккоеки, Хоско, Тииталанваара и Кульюнки, которые переходят на территорию Карелии в пределах участка Приграничный Северный. Формация Сиваккоеки слагает антиклиналь в обрамлении массива тоналитов Тасанваара, она представлена последовательностью (1–11): пелитовыми и песчаниковыми полевошпатовыми осадками, в том числе с обломочными компонентами, увеличивающимися по размерности к северу, аренидами, конгломератами, метаандезитами, агломератами и массивными дацитами, сланцами по слоистым и кристаллокластическим туфам, шаровыми и брекчиевидными лавами, полевошпатовыми пелитами и углерод- и сульфидсодержащими сланцами, выделяющимися в магнитных и электромагнитных полях. Слоистые и шаровые текстуры осадков и лав предполагают их накопление в морском мелководном близконтинентальном бассейне. Лапилли и кристаллокластические туфы подчеркивают взрывной характер кислого – среднего вулканизма.

Формация Хоско обрамляет с юга массив гранитов Картица и представлена последовательностью (12–23), в которой развиты сильно измененные, мелкозернистые, ритмичнослоистые, пирогенные и эпикластические полевошпатовые осадки (серицитизированные арениды), выделяемые как турбидиты. В средних частях (14–19) разреза развиты более зернистые осадки и в незначительном количестве фельзитовые лавы с измененным стеклом. Верхняя пачка (21–23) сложена рассланцованными основными шаровыми лавами и актинолит-талк-хлоритовыми сланцами по ультраосновным породам.

Формация Тииталанваара протягивается до оз. Кадилампи. Она представлена последовательностью (24–26), обрамляет тоналиты Корпиваара и домен Пампало и включает гранат-грюнерит-кварц-магнетитовые плосчатые толщи (ВІF), граувакки, метабаазальты, полимиктовые несортированные конгломераты (26).

Формация Пампало представлена последовательностью (27–33), которая включает метабаазальты, граувакки, кластические осадки, конгломераты с обломками среднего и кислого состава, туфы, тальк-тремолит-хлоритовые сланцы по коматиитам, габбро. В СВ части пояса толща, вероятно, может проследиваться до оз. Кадилампи.

Формация Кульюнки (41–50) образует синклиналию структуру между лейкогранитами Наарва и массивом Картица и представлена пелитами, граувакками, турбидитами, отчасти вулканокластическими осадками, брекчиями, лахарами (с обломками пород кислого и среднего состава размером до 30 см), полимиктовыми конгломератами, переотложенными эпикластическими осадками. Часто в сланцах развиты порфиробласты микроклина. Для верхних частей последовательности (47, 49–50) характерна повышенная магнитность за счет присутствия сульфидсодержащих сланцев и железистой формации с порфиробластами граната либо актинолита.

Лопийские толщи на территории западной Карелии прорываются разнообразными гранитоидами и дайками основного состава и разного возраста. Среди основных-ультраосновных магматических пород здесь были выявлены интрузивные тела архейских габбро, протерозойских габбро-долеритов, пироксенитов и шпинелевых ультрабазитов. Интрузивные тела кислого-среднего состава образуют большой спектр пород: диоритов, тоналитов, гранит-порфиров К-Na-серии, субщелочных диоритов – кварцевых диоритов, Na-K гранодиоритов, гранитов, гранито-гнейсов и К-лейкогранитов. Реже встречаются отдельные небольшие тела кварц-плагиогранит-порфиров и дайки плагиопорфиров. Широко распространены щелочные метасоматиты, тяготеющие к площадям развития К-гранитоидов.

Вмещающие толщи в северной части пояса Хатту прорываются субщелочными гранодиоритами Койтери, гранодиоритами Хойкан Килкейнен, тоналитами Корпиваара (комплекс Куйттила), гранитами Картица, лейкогранитами Наарва и протерозойскими дайками габбро СЗ простирания. В пределах структур северной части пояса выделяется главная субмеридиональная ССВ шир-зона Росвахоту и восточнее шир-зона Кивийоки, обычно разделяющие разновые уровневые стратиграфические последовательности. С тоналитами и порфировыми дайками комплекса Куйттила и субмеридиональными сдвиговыми зонами в них и во вмещающих толщах связаны месторождения и коренные проявления золота (Geological development..., 1993). В северной части пояса Хатту – это месторождения Валкеасуо и Корпилампи, южнее в домене Пампало – месторождение Вард.

Таблица 1

**Корреляция вмещающих и интрузивных комплексов зеленокаменного пояса Хатту
и участка Приграничный Северный**

Геологический элемент сопоставления	З/к пояс Хатту, СВ часть пояса, домены Кульюнки, Хоско, Пампало	З/к пояс Ялонварский, участок Приграничный Северный
Лопийские вмещающие толщи	Формации Сиваккоеки (1–11), Хоско (12–23), Кульюнки (41–50), Тииталанваара (24–26) представлены пелитами, аренитами, граувакками, конгломератами, вулканокластическими осадками, реже лавами и туфами среднего и кислого состава, в меньшем объеме полосчатыми гранат-грюнерит-кварц-магнетитовыми сланцами, основными, реже ультраосновными породами, сульфид- и углеродсодержащими сланцами; Пампало (27–33) – метабазальтами, граувакками, конгломератами, сланцами по коматиитам	Метаморфизованные осадки, конгломераты, андезиты, базальты, реже коматииты, черные и сульфидсодержащие сланцы, сланцы по туфогенно-осадочной толще кислого – среднего состава
Протерозойские толщи	Нет	Конгломераты, вариолитовые андезибазальты, туфы, осадки
Возраст лопийских литотипов	Ср. – 2,75 млрд лет (по циркону: 2761, 2754–2744 млн лет. Sm/Nd метод: смешение с материалом более древнего источника, но не древнее 3,0 млрд лет)	Нет данных
Сингенетичное оруденение	Сульфидная минерализация в углеродистых сланцах и осадках. Магнетитовые кварциты, сланцы (BIF) (1–11) накопление в мелководном бассейне вблизи окраины континента, взрывной андезидацитовый вулканизм. (12–23, 24–26) – турбидиты и частично вулканогенно-осадочные отложения. (41–45) – турбидиты, осадки, конгломераты, лахары вблизи окраины континента. (24–33) – морской бассейн	Вкрапленные колчеданы (в небольшом объеме), магнетитовые кварциты, сланцы Четко не проанализированы
Условия и геодинамическая обстановка формирования осадочных и вулканогенно-осадочных комплексов		
Базит-гипербазитовый магматизм	AR комплекс: габбро, габбро-пироксениты PR комплекс: габбро-долериты	AR комплекс: габбро. PR комплекс: габбро-долериты, габбро-пироксениты, шпинель-оливиновые пироксениты
Порфиоровые дайки	Плагипорфиры, к-с Пампалонуро	Плагипорфиры
Интрузивные диорит-гранодиорит-гранитные комплексы	Тоналиты к-са Куйттила, гранодиориты, гранитпорфиры, К-граниты, монцодиориты, (К-метасоматиты)	Тоналиты, плагиигранит-порфиры, гранодиориты, Na-K-гранит-порфиры, субщелочные К-граниты, субщелочные диориты и кварцевые диориты, (К-метасоматиты)
Возраст гранитоидных интрузий	По южной части пояса: к-с Куйттила – 2,745 млрд лет, Тасанваара – 2,748 млрд лет. К-с Силвеваара – 2,757 млрд лет, к-с Вилуваара – 2,75 млрд лет, к-с Погоста – 2,724 млрд лет	Нет данных
Сдвиговые зоны	1. AR: субмеридиональные и ССВ, СЗ и реже СВ (на месторождении Вард); 2. PR: СЗ	1. AR: субмеридиональные и ССВ; 2. PR: СЗ
Метаморфизм	Амфиболитовая фация (And-Ку тип)	Лопийские толщи: амфиболитовая фация; протерозойские: зеленосланцевая
Околорудные изменения и метасоматоз в шир-зонах (зонах хрупко-пластичных деформаций)	В тоналитах, гранодиоритах, средних и кислых толщах и на контактах даек в ассоциации с золото-сульфидно-кварцевыми (иногда с карбонатом) прожилками развиты серицит, биотит, альбит, К-полевой шпат, эпидот, иногда гранат, турмалин, шеелит, карбонат, хлорит	1. В гранитоидах и вмещающих толщах: ранние изменения – щелочные калишпатовые, грейзенизация, поздние – кварц-серицитовые (до гумбеитов). 2. В основных толщах и габбро развиты эпидот и биотит. 3. В субщелочных гранитоидных комплексах и как наложенные на вмещающие породы – альбит-микроклиновые метасоматиты
Эпигенетическое оруденение	1. Молибденит, шеелит, сульфиды полиметаллов, турмалин-кварцевое прожилковое. 2. Сфалерит-халькопирит-пирротинное в сланцах. 3. Золото-сульфидное (с пиритом и теллуридами) в шир-зонах измененных тоналитов и на их контактах во вмещающих толщах (реже с арсенипиритом)	1. Молибденит. 2. Золото-сульфидное вкрапленное в гранитоидах и метасоматитах шир-зон. 3. МПГ в дайках габбро-долеритов. 4. Редкоземельное с Р, Тi, магнетитом в щелочных метасоматитах
Рудоконтролирующие факторы	1. Тоналиты и гранодиориты к-са Куйттила и Вилуваара, дайки (AR). 2. Сдвиговые зоны (рассланцевание и метасоматоз, AR)	1. Тоналиты и гранодиориты, дайки (AR). 2. Сдвиговые зоны (рассланцевание и метасоматоз, AR). 3. Габбро-долериты (PR)
Рудные объекты	Р-я Валкеасуо и Корпилампи	Р-е Кадилампи, п. м. Каппала, Куслонки и др.
Геохимические ореолы	Au, Mo, Bi, Te, W, B, As, Ag, Cu, Se, Pb, Zn	Au, Ag, Cu, Te, Se, As, Mo, Bi, Zn, Pb
Содержание золота: 1 – в ореолах; 2 – в рудных телах	1. 0,1–0,25 г/т; 2. 1–48 г/т	1. 0,01–0,1 г/т; 2. 1–5,3 г/т

Примечание. Сравнение приводится по «Geological development...» (1993) и материалам Карельской ГЭ.

Так как диориты, тоналиты, гранодиориты, граниты и связанные с ними дайки представляют непосредственный интерес при поисках золота, им и некоторым основным магматическим комплексам северной приграничной площади дадим более детальную петрографо-петрохимическую характеристику. На этой территории С. Н. Юдиным было выделено несколько зон расщепления (шир-зон) и метасоматического преобразования, приуроченных к субмеридиональным сдвиговым деформациям. В связи с тем что золоторудная минерализация тяготеет преимущественно к метасоматически измененным породам по гранодиоритам и вмещающим толщам на их контактах, одновременно приведем их описание.

Петрографо-петрофизическая характеристика горных пород

Петрографическая и петрофизическая характеристика вмещающих и интрузивных пород в статье приводится по результатам изучения шлифов и данным измерения магнитной восприимчивости пород, полученным при документации скважин по северной приграничной площади геологами КГЭ (табл. 2).

Петрофизическая характеристика вмещающих и интрузивных пород детальных участков

Участок Куслочки расположен южнее оз. Куслочки, разбурен С-13–23 (рис. 1). На участке вскрыты лопийские вмещающие толщи – гнейсы и амфиболиты по основным вулканитам (С-21). Они прорываются разнообразными гранитоидами, среди которых можно выделить серые гранодиориты, тоналиты, плагиогранит-порфиры (С-17, 18, 22), гнейсы (С-14, 15, 23), розовые К-граниты и лейкограниты (С-12, 13, 16, 19–20, 24).

Особый интерес представляют серые огнейсованные, иногда милонизированные известково-щелочные гранитоиды (тоналиты, плагиограниты, плагиогранит-порфиры). Для них характерен биотит-кварц-плагиоклазовый состав (биотита до 5%), часто отчетливая сохранность крупных вкрапленников плагиоклаза. Иногда в них развивается микроклин в интерстициях по сланцеватости или в виде порфиробласт (до 5%). Вторичные минералы в ассоциации с биотитом представлены эпидотом, хлоритом, к этим же скоплениям приурочен округлый апатит, циркон, сфен.

Более поздние изменения представлены серицитом, развивающимся по сланцеватости в ассоциации с кварцем, или альбитом в зальбандах прожилков. Поздний гранулированный и зернистый кварц выделяется по сланцеватости или в прожилках совместно с микроклином, иногда с ним ассоциирует карбонат (небольшое количество). Поздние низкотемпературные преобразования относятся к кварц-серицитовому – гумбеитовому типу. К известково-щелочным

гранитоидам и особенно зонам расщепления и метасоматического преобразования в них приурочена бедная вкрапленность сульфидов (пирит, пирротин в количестве до 2%).

К-граниты, лейкограниты, а также гранито-гнейсы с метасоматическим развитием микроклина имеют розовый цвет, разную зернистость в зависимости от субстрата и характеризуются высоким содержанием микроклина. В них присутствуют биотит, мусковит, эвтектические сростания кварца и альбита, из вторичных минералов – эпидот, реже хлорит, акцессорные представлены сфеном, апатитом, цирконом.

Гранитоиды характеризуются магнитной восприимчивостью со значениями от $n \times 10^{-5}$ (гранодиориты, тоналиты) до $n \times 10^{-3} - 10^{-4}$ (К-граниты) (табл. 2).

Участок Шаверки расположен между озерами Куслочки и Шаверки, разбурен по северному (С-1–12) и южному берегам р. Шаверки (С-24–36). Скважинами подсечены тела габбро-пироксенитов и широко развитые здесь розово-серые плагиомикроклиновые граниты, гранито-гнейсы, субщелочные граниты и мелкозернистые розовые неравномерно окрашенные с включениями темноцветных минералов щелочные альбит-микроклиновые метасоматиты.

Из вмещающих толщ в южной части участка выявлены амфиболиты по базальтам (С-33) и сланцы по осадкам или туфогенно-осадочной толще среднего состава с округлыми выделениями (гальки?) кварца и плагиоклаза (С-25). Туфогенно-осадочная толща представлена сланцами амфибол-биотит-эпидот-кварц-плагиоклазового состава, незначительно микроклинизирована. Среди акцессорных и рудных минералов сланцы содержат единичные выделения рутила, сфена, реже сульфидов и имеют $\chi = (1 \div 7) \times 10^{-5}$. Амфиболиты по базальтовым плагиопорфиритам (С-33) содержат мелкие вкрапленники плагиоклаза и их гломеропорфировые сростания. Они характеризуются более высокой магнитной восприимчивостью – $(3 \div 5) \times 10^{-4}$, чем породы вулканогенно-осадочной толщи.

Амфиболитизированные габбро-пироксениты установлены на северном берегу р. Шаверки в С-1, 2, 4, их биотитизированные разности – в С-8. Породы состоят преимущественно из темно-зеленого амфибола, в меньшем количестве – плагиоклаза (5%), биотита (1–5%), содержат кварц в незначительном количестве и представляют, по-видимому, единую интрузию. Количество биотита иногда достигает 10–15%. Роговая обманка и биотит замещаются хлоритом, карбонатом. Из акцессорных и рудных минералов присутствует ильменит, в пироксенитах – сфен, их $\chi = (2 \div 6) \times 10^{-4}$.

Серые, розовато-серые биотитовые гранитоиды (К-Na серия) были вскрыты в С-32, 34–36 они характеризуются магнитной восприимчивостью $n \times 10^{-4} \div 10^{-5}$. Розовые микроклиновые граниты (С-16, 3, 9, 24) содержат до 40% микроклина, имеют χ от $(1 \div 6) \times 10^{-4}$ до $n \times 10^{-5}$. Субщелочные гранодиориты и граниты широко развиты как на северном берегу, так и на южном, они имеют χ от $(2 \div 6) \times 10^{-3}$ до $(1 \div 7,2) \times 10^{-4}$.

Таблица 2

Магнитная восприимчивость пород участка Приграничный Северный (в ед. СИ)

№	Группа	Петрографическая характеристика пород	Скважина	Магнитная восприимчивость
Участок Куслочки (С-13–23)				
1	8	Серые тоналиты, гранодиориты, кварц-плагиопорфиры	C-17, 18	$(1\div 9)\times 10^{-5}$
2	1	Гнейсы	14, 15, 23	$(1,4\div 5)\times 10^{-3}-(1,1\div 4)\times 10^{-4}$
3	3	Микроклинизированные гранодиориты и гнейсы	C-22	$(1,6\div 6,6)\times 10^{-3}$
4	10	Розовые К-граниты, лейкограниты, гранито-гнейсы	C-13, 16, 19–20	$(1\div 6,3)\times 10^{-4}-(1,2\div 7,5)\times 10^{-3}$
5	2	Амфиболиты по основным вулканитам	C-21	$(3,8\div 6,2)\times 10^{-3}-(4,5\div 5,4)\times 10^{-4}$
Участок Шаверки (север С-1–12 и юг С-24–36)				
1	1	Сланцы по туфогенно-осадочной породе с плагиоклазовыми вкраплениями	C-25	$(1\div 7)\times 10^{-5}$
2	2	Метабазальты	C-33	$(3\div 5)\times 10^{-4}$
3	5	Габбро-пироксениты, в том числе биотитизированные	C-1, 2, 4, 8	$(2\div 6)\times 10^{-4}$
4	11	Щелочные Na-K-метасоматиты с пироксеном, роговой обманкой, магнетитом, сфеном, апатитом	C-6, 10, 11, 12, 26, 27, 28, 29, 31	$(1\div 7)\times 10^{-2}-2\times 10^{-1}$
5	10	Субщелочные гранодиориты, монцодиориты, граниты	C-12, 6	$(2\div 6)\times 10^{-3}-1\times 10^{-4}$
6	10	Розовые микроклиновые граниты	C-16, 3, 9	$(1\div 6)\times 10^{-4}-(4\div 7)\times 10^{-5}$
7	14	Кварц-микроклиновые прожилки в гранитах, калишпатовых метасоматитах с эпидотом, карбонатом, иногда сульфидами	C-10, 28, 29, 30	$(2\div 5)\times 10^{-3}-(2\div 5)\times 10^{-4}$
8	8	Серые гнейсы по гранодиоритам	C-32, 35	$(1\div 4)\times 10^{-4}-5\times 10^{-5}$
Участок Солуха (С-37–48)				
1	1	Метаандезиты	C-48	$(2\div 8)\times 10^{-3}$
2	8	Тоналиты, гранодиориты, диориты, гнейсы	C-37, 40–41	$(1\div 7)\times 10^{-4}-7\times 10^{-5}$
3	12	Гранодиориты огнейсованные, прокварцованные, отчасти микроклинизированные с гранатом, с сульфидами (1–2%)	C-37, 41	$(1\div 3)\times 10^{-4}-1\times 10^{-2}$
4	9	Серые микроклинизированные гранодиориты, гнейсы, иногда с гранатом	C-48-49	$(3\div 5)\times 10^{-5}-(2\div 5)\times 10^{-4}$
5	10	Розовые К-граниты	C-43-44	$(2\div 3)\times 10^{-4}-(5\div 9)\times 10^{-5}$
6	11	Щелочные метасоматиты с магнетитом и темноцветными минералами	C-45, 50, 41	$(1\div 8)\times 10^{-2}-5\times 10^{-3}$
Ручей Каппала – оз. Горное (С-51–66)				
1	4	Габбро-амфиболиты (AR)	C-55, 57	$(4,3\div 9)\times 10^{-4}$
2	6	Габбро-долериты (PR)	C-61, 62	$(2\div 8)\times 10^{-2}-7\times 10^{-3}$
3	2	Амфиболиты (метабаазальты)	C-66	$(3\div 7)\times 10^{-4}$
4	13	Биотит-хлоритовые сланцы	C-54	$(2,3\div 4,6)\times 10^{-4}$
5	1	Гнейсы по породе среднего состава с ед. сульфидами и полосчатые гнейсы и сланцы	C-52, 53, 56 C-65	$(1,2\div 6,4)\times 10^{-4}-(1\div 8)\times 10^{-5}$ и $5\times 10^{-4}-2\times 10^{-3}$
6	8	Серые диориты, кварцевые диориты	C-63	$6\times 10^{-5}-1\times 10^{-4}$
7	10	Розовые микроклиновые граниты, гранодиориты и пегматиты	C-64-65, 58-60	$(1\div 6)\times 10^{-4}-(4\div 6)\times 10^{-5}$
8	11	Щелочные Na-K-метасоматиты	C-51, 58	$(1\div 3,1)\times 10^{-2}-(1\div 7)\times 10^{-3}$
Каппала – Кадилампи (С-67–78, 79)				
1	3	Серпентин-хлорит-талк-карбонат-тремолитовые сланцы	C-67	$(1\div 3)\times 10^{-2}-(1\div 7)\times 10^{-3}$
2	7	Шпинель-оливинсодержащие пироксениты	C-71, 75	$1\times 10^{-2}-(2\div 8)\times 10^{-3}$
3	4	Биотитизированное метагаббро (AR)	C-73	$(2\div 9)\times 10^{-4}$
4	2	Биотитизированные амфиболиты (метабаазальты)	C-79	$(2\div 6)\times 10^{-4}$
5	10	Розовые лейкограниты с интенсивной серицитизацией	C-75, 76	$1\times 10^{-4}-(2\div 5)\times 10^{-5}$
6	12	Серицитизированные гранодиориты с сульфидами (1–2%)	C-76-78	$(1\div 4)\times 10^{-4}-(3\div 7)\times 10^{-5}$
Кадилампи 1, 2 (С-80–88)				
1	6	Габбро-долериты (PR)	C-80, 83,	$(2\div 8)\times 10^{-2}$
2	2	Амфиболиты по базальтам (плагиопорфириты), биотитизированные	C-84, 88	$(1\div 4)\times 10^{-4}$
3	12	Тоналиты, гранодиориты, рассланцованные с прожилками кварца, мусковита, турмалина, сульфидов до 1–2%	C-81-82	$(1\div 4)\times 10^{-4}-6\times 10^{-5}$
4	1	Гнейсы с редкими прожилками кварца, мусковита, турмалина и бедной вкрапленностью сульфидов до 1–2%	C-85–87	$(1\div 3)\times 10^{-4}-6\times 10^{-5}$

П р и м е ч а н и е . Группы объединяют следующие породы: 1 – метаморфизованные вулканогенно-осадочные толщи кислого – среднего состава, метаандезиты, гнейсы и сланцы по ним; 2 – метабаазальты, амфиболиты; 3 – серпентин-талк-тремолитовые сланцы по метакома-титам; 4 – метагаббро (AR); 5 – габбро-пироксениты; 6 – габбро-долериты (PR); 7 – шпинелевые оливиновые пироксениты; 8 – тона-литы, диориты, кварц-плагиогранит-порфиры, гнейсы по ним; 9 – микроклинизированные гранитоиды группы 8; 10 – К-граниты, лейкограниты, монцодиориты, гранито-гнейсы; 11 – щелочные Na-K-метасоматиты с магнетитом, сфеном, апатитом; 12 – окварцованные породы, гранитоиды с микроклин-кварцевыми и кварцевыми прожилками с мусковитом и сульфидами; 13 – биотит-хлоритовые сланцы (изменен-ные основные породы); 14 – К-граниты, щелочные метасоматиты с микроклин-кварцевыми прожилками.

На участке Шаверки особо следует выделить ще-лочные альбит-микроклиновые метасоматиты (С-5–6, 10–12, 26–27, 31), вероятно связанные со субще-лочной серией гранитоидов. Породы имеют розовый

цвет, среднюю или крупную зернистость, содержат гнезда, сложенные сине-зеленой роговой обманкой, эпидотом, иногда реликты пироксена. Пироксен за-мещается мелкозернистой массой амфибола, эпидо-

та, биотита, кварца. К ним приурочены акцессорные и рудные минералы, представленные ортитом, цирконом, апатитом (1–3%), сфеном (1–5%), магнетитом (3–20%). Сфен и вытянутые бочонковидные зерна апатита достигают размера 1 см. Магнитная восприимчивость этих пород $(1\div 7)\times 10^{-2}$ – $(1\div 5)\times 10^{-1}$. Она снижается в случае развития по метасоматитам кварцсодержащих прожилков: до $(2\div 8)\times 10^{-3}$ и $(2\div 5)\times 10^{-4}$.

Участок Солуха расположен южнее оз. Солуха, разбурен С-37–48. На юго-западном берегу озера (С-48) подсечена толща среднего состава, представленная биотит-амфибол-кварц-плагиоклазовыми сланцами с редкими кварц-плагиоклазовыми вкрапленниками. Магнитная восприимчивость пород $(2\div 8)\times 10^{-3}$. Рудная минерализация представлена единичными зернами ильменита и сульфидов. Гранат-биотитовые гнейсы развиты более широко (С-48–49), для них характерна χ от $(3\div 5)\times 10^{-5}$ до $(2\div 5)\times 10^{-4}$. Их слабая микроклинизация сопровождается несущественными изменениями магнитной восприимчивости (С-43–44). В С-45, 50 вскрыты щелочные (альбит-микроклиновые) метасоматиты, количество темноцветных минералов в них достигает 15–20% и представлены они сине-зеленой роговой обманкой, эпидотом, в ассоциации со сфеном, апатитом, титаномагнетитом. Для метасоматитов характерна χ от $(1\div 8)\times 10^{-2}$ до 5×10^{-3} .

Диориты – гранодиориты (и гнейсы по ним) подсечены в С-37–41. Они прорывают более мелкозернистые гранат-биотитовые гнейсы. Породы массива имеют биотит-плагиоклазовый состав, содержание кварца в них достигает 3–5%, реже до 10%. Они иногда секутся кварц-микроклиновыми прожилками или пропитываются микроклином. Количество биотита достигает 10–35%. Из акцессорных и рудных минералов присутствуют апатит, сфен, единичный ильменит, циркон, эпидот. В контактовой зоне рассланцевания и брекчирования в гранитоидах (С-39) развиты прожилки кварца и микроклина, отмечаются кварц-альбитовые эвтектические срастания, мусковит, перекристаллизованный более крупный биотит, ильменит, иногда сульфиды (до 1–2%) и гранат. В зоне прожилкования увеличивается количество мусковита и незначительно развиты более поздние минералы – эпидот, карбонат. Тип метасоматических изменений пород отвечает условиям грейзенизации – серицитизации. Сульфиды представлены пиритом, пирротинном, халькопиритом, иногда молибденитом. Гнейсы по серым диоритам без наложенных изменений характеризуются магнитной восприимчивостью $(2\div 8)\times 10^{-5}$ – $(1\div 7)\times 10^{-4}$. В прожилковой зоне магнитная восприимчивость пород сильно колеблется от 1×10^{-2} до $(1\div 6)\times 10^{-4}$ (табл. 2).

Профиль Каппала – Горное (С-51–66) пересекает структуру от СВ окончания оз. Каппала до оз. Горного. Из вмещающих толщ он пересекает биотит-кварц-плагиоклазовые гнейсы и сланцы, образовавшиеся по вулканогенно-осадочной толще среднего состава (С-52, 53, 56) и иногда содержащие гранат,

мусковит. В них встречаются прожилки кварца, сопровождаемые мусковитом, иногда хлоритом, с сульфидами до 1–1,5% и единичными выделениями ильменита. Магнитная восприимчивость этих пород, в том числе с прожилками, $-(1\div 8)\times 10^{-5}$ – $(1,2\div 6,4)\times 10^{-4}$.

Скважиной С-66 подсечены амфиболиты по мелкозернистым базальтам – это существенно роговообманковые породы с плагиоклазом, эпидотом, биотитом и незначительным количеством титаномагнетита (1–1,5%), полностью замещенного ильменитом и сфеном. Их магнитная восприимчивость $(3\div 7)\times 10^{-4}$ близка к значениям в габбро-амфиболитах, вскрытых в скважинах С-55–57, $-(4,3\div 9)\times 10^{-4}$. Габбро-амфиболиты содержат темно-зеленую роговую обманку, плагиоклаз, незначительное количество кварца, акцессорный игольчатый апатит, незначительное количество сфена и ильменита. Они прорывают амфиболиты. В С-54 подбурена биотит-хлоритовая порода, имеющая $\chi = (2,3\div 4,6)\times 10^{-4}$ (интенсивно измененные, биотитизированные амфиболиты). Основная толща прослеживается к югу до оз. Кадилампии и к северу до оз. Кулолки.

Кроме архейских даек габбро-амфиболитов отчетливо выделяются практически не метаморфизованные протерозойские габбро-долериты (С-61, 62). Для пород характерно присутствие пироксена, основного плагиоклаза, титаномагнетита с решеткой распада ильменита (10–20%), кварц-альбитовых гранофилов, акцессорного апатита. Из вторичных минералов типично развитие ассоциации сине-зеленого амфибола, биотита и эпидота, образующих коронарную кайму вокруг пироксена и биотита и ильменита вокруг титаномагнетита. Изменения габбро-долеритов отвечают условиям зеленосланцевой фации, в отличие от метаморфических преобразований вмещающих пород. Габбро-долериты обладают наиболее высокой магнитной восприимчивостью, установленной в основных породах в этом районе, $-(2\div 8)\times 10^{-2}$ (иногда до 7×10^{-3}). В западной Карелии в районе озер Тулос и Вуоттоярви известны и широко развиты подобные дайки габбро-долеритов, имеющие СЗ простираение (по данным М. М. Лаврова и А. С. Еина).

Среди интрузивных гранитоидов в западной части профиля выделяются серые диориты с $\chi = 2\times 10^{-4}$ – 6×10^{-5} (С-63, 65), розовые крупнозернистые и пегматоидные микроклиновые граниты с $\chi = (1\div 6)\times 10^{-4}$ – $(4\div 5)\times 10^{-5}$ (С-64, 58–60) и полосчатые гнейсы с $\chi = (2\div 5)\times 10^{-3}$ – 5×10^{-4} (С-65), образовавшиеся по вмещающей толще.

На профиле также подсечены щелочные полевошпатовые метасоматиты (С-51, 58), подобные участку Шаверки. Они представлены микроклином, альбитом, пироксеном, реже биотитом. Пироксен нацело замещен сине-зеленым амфиболом, кварцем и сфеном в центре и эпидотом – в кайме. Метасоматиты сопровождаются крупными кристаллами апатита и титаномагнетитом. Микроклин содержит пертиты распада альбита. Данные метасоматиты развиты среди субщелочных грани-

тоидов с $\chi = (1\div 6)\times 10^{-4} - 4\times 10^{-5}$ (С-58–60), восточнее дайки габбро-долеритов. Их магнитная восприимчивость $(1\div 3,1)\times 10^{-2} - (1\div 7)\times 10^{-3}$ (С-51, 58).

Профиль Каппала – Кадилампи (С-67–78, С-79) имеет СЗ направление и дает представление о геологическом строении участка Кадилампи между озерами Каппала и Кадилампи. На этом участке появляются ультраосновные толщи, подобно домену Пампало. К западу от оз. Кадилампи С-67 вскрыла толщу серпентин-хлорит-талек-карбонат-тремолитовых сланцев по оливиновым пироксенсодержащим породам, выделяемых как метаморфизованные ультрабазиты (коматииты). Их магнитная восприимчивость высокая – $(1\div 3)\times 10^{-2} - (1\div 7)\times 10^{-3}$. В С-79 подсечены биотитизированные амфиболиты по базальтам с $\chi = (2\div 6)\times 10^{-4}$. Толща амфиболитов прослеживается к северу до озер Горное (С-66) и Куслоки (С-21).

Среди интрузивных тел базит-ультрабазитового состава на участке были выявлены также два типа даек (архейские габбро-амфиболиты и пироксениты). Габбро-амфиболиты (С-73) – плагиоклаз-роговообманковые породы, иногда содержат кварц и наложенный биотит (до 10%), которые появляются в большем количестве в зоне воздействия гранитов. Среди аксессуаров и рудных минералов в породе присутствует апатит, титаномагнетит и ильменит (1–2%), их $\chi = (2\div 9)\times 10^{-4}$ (как в метабазальтах). Дайка габбро-амфиболитов, выявленная в С-73, подобна телам, подсеченным С-55, 57 профиля ручей Каппала – оз. Горное. Архейские дайки, по-видимому, имеют субмеридиональное простирание.

Второй тип даек имеет СЗ простирание, представлены они необычными, шпинелевыми оливинсодержащими пироксенитами с $\chi = 1\times 10^{-2} - (2\div 8)\times 10^{-3}$, подсечены С-71, 75. Породы представлены преимущественно пироксеном, бесцветным амфиболом, в меньшем количестве оливином, биотитом (иногда до 10%), незначительно тальком по оливину, аксессуарными – сфеном, апатитом, зеленой шпинелью, магнетитом.

Участок Каппала. Слабо обнаженный участок Каппала, расположенный южнее одноименного озера, находится на продолжении СВ ветви пояса Хатту (формации Хоско и Тииталанваара). В редких обнажениях здесь зафиксированы амфиболиты, сланцы, К-граниты и гранито-гнейсы.

Участок Кадилампи-2 располагается на северном берегу оз. Кадилампи. Коренные породы здесь вскрыты одиночными канавами и скважинами (С-80–86) под четвертичными отложениями мощностью 1–7 м. Участок сложен метаморфизованными основными вулканитами и сланцами по вулканогенно-осадочной толще. В С-84 вскрыты базальтовые плагипорфириты с мелкими вкрапленниками плагиоклаза с $\chi = (2\div 4)\times 10^{-4}$. Вмещающие толщи прорываются интрузивным телом гранодиоритов архейского возраста и дайкой протерозойских габбро-долеритов. Западнее участка скважиной С-79 подсечена толща амфиболитов, которая в пределах участка прорывается дайкой протерозойских габбро-долеритов (С-80, 83). Для

габбро-долеритов характерен пироксен-плагиоклазовый состав, наличие гранофировых сростков, содержание титаномагнетита достигает 10–20%. Присутствуют единичные сульфиды. Магнитная восприимчивость пород близка к значениям по дайкам протерозойских базитов профиля р. Каппала – оз. Горное – $(2\div 8)\times 10^{-2}$. Дайки имеют СЗ простирание, что устанавливается по геофизическим данным (см. ниже).

В С-81–82 подсечены биотитовые плагиогранито-гнейсы, для которых характерна магнитная восприимчивость $(1\div 3)\times 10^{-4} - 6\times 10^{-5}$. Близкие значения имеют гнейсы по вмещающей толще с редкими кварцевыми прожилками и бедной сульфидной минерализацией в северной части участка (С-85–87), переходящие к разрезу участка Кадилампи-1.

Участок Кадилампи-1 расположен СВ участка 2 и приурочен к небольшому (300×700 м) выходу гранитоидного массива Кадилампи, прорывающему вулканогенно-осадочную толщу и дайку габбро. Массив сложен розово-серыми микроклиновыми гранит-порфирами, вскрытыми в скважинах и канавах детального участка. Породы содержат вкрапленники микроклина, плагиоклаз, кварц, биотит. В северном экзоконтакте вскрытая дайка габброидов превращена в порфиробластические амфиболиты. Во вмещающих сланцах развиваются зонки с повышенным содержанием эпидота, серицита, биотита. В центральной части массива к участку брекчирования и рассланцевания субмеридионального простирания приурочена штокверковая зона. Штокверк содержит кварцевые прожилки и жилы мощностью от 1–2 см до 0,5 м с доминирующим субмеридиональным простиранием. В зальбандах прожилков развиты эпидот, серицит, турмалин, реже хлорит, актинолит, биотит. Рудная минерализация представлена молибденитом, халькопиритом, пиритом, реже пирротином, сульфидами полиметаллов, шеелитом, золотом. Молибденит выделяется в виде мелких и средних по размеру чешуек.

В С-113–115 и обнажениях СЗ от массива развиты магнетитсодержащие кластические осадки и раннещелочные метасоматиты. ЮЗ массива в С-87 вскрыты прокварцованные гнейсы, в С-88 – биотитизированные амфиболиты по базальтам. Они прослеживаются в субмеридиональном направлении и имеют $\chi = (1\div 3)\times 10^{-4}$.

В северо-западной части площади в районе озер **Веркояри** и **Киви** более широко развиты мелкозернистые гнейсы и полосчатые сланцы по кластическим осадкам биотит-кварц-плагиоклазового состава, иногда с микроклином, мусковитом или гранатом, подобные разрезу формации Хоски, Кульюнки. Они прорываются К-гранитами.

Петрографо-петрохимическая характеристика магматических пород и их изменения

Химические анализы магматических пород северной приграничной площади приведены в табл. 3.

Таблица 3

Химические составы интрузивных пород участка Приграничный Северный

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 *	13 *	14 *	15 *
SiO ₂	48,55	48,77	48,2	56,2	62,42	61,3	74,6	71,57	73	74,33	71,96	69,28	70,06	58,74	64,18
TiO ₂	1,55	2,97	0,8	0,94	0,49	1,04	0,25	0,13	0,12	0,05	0,11	0,34	0,20	0,50	0,54
Al ₂ O ₃	13,53	11,83	14,7	17,3	15,85	15,2	13,2	14,97	14,1	13,67	14,54	15,75	15,32	18,27	14,06
Fe ₂ O ₃	5,75	4,31	2,49	2,26	1,86	2,27	1,57	0,68	0,94	0,43	0,91	0,12	0,10	4,21	6,51
FeO	9,46	13,33	9,63	5,35	2,9	3,92	0,71	1,17	0,93	0,62	0,67	2,44	1,36	2,75	3,23
MnO	0,24	0,23	0,17	0,16	0,08	0,08	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,043	0,027	0,022	0,036
MgO	6,39	4,75	9,17	3,65	3,13	2,5	0,84	0,86	0,5	0,29	0,51	1,43	0,97	0,26	0,26
CaO	8,97	8,85	9,96	6,1	3,89	2,75	1,31	1,24	0,75	1,07	0,44	1,99	1,21	1,56	1,56
Na ₂ O	2,25	2,73	1,83	5,63	5,48	4,53	5,9	4,83	3,91	4,8	4,08	6,97	5,44	3,21	4,72
K ₂ O	0,39	0,46	0,07	1,01	2,22	4,31	0,72	3,53	4,93	3,95	5,69	0,19	4,39	9,80	3,95
P ₂ O ₅	0,17	0,31	0,06	0,27	0,21	0,45	0,03	0,08	0,08	0,03	0,04	0,07	0,13	0,43	0,20
H ₂ O												0,10	0,12	0,07	0,07
ппп	1,62	0,45	1,72	0,57	0,93	0,87	0,64	0,65	0,55	0,46	0,65	0,81	0,67	0,32	0,51
Сумма	99,85	100,07	99,8	100,1	99,78	99,7	99,8	99,87	100	99,8	99,68	99,53	100	100,14	99,64
Ba	0,02	0,02	0,02	0,03	0,08	0,1	0,07	0,07	0,05	0,06	0,08				
S	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05				
V	0,039	0,061	0,032												
n	4	3	1	1	6	1	1	6	1	3	5	1	1	1	1
Na ₂ O+K ₂ O	2,64	3,19	1,9	6,64	7,7	8,84	6,62	8,36	8,84	8,75	9,77	7,16	9,83	13,01	8,67
Na ₂ O/K ₂ O	5,77	5,93	26,1	5,57	2,47	1,05	8,19	1,37	0,79	1,22	0,72	36,7	1,24	0,33	1,19
al	0,63	0,53	0,69	1,54	2,01	1,75	4,23	5,52	5,95	10,2	6,96	3,95	6,30	2,53	1,41
Ka	0,73	0,65	0,73	1,75	2,19	2,05	5,13	6,35	7,44	12,62	8,53	4,34	6,77	3,68	2,08
mg	0,44	0,33	0,58	0,47	0,55	0,43	0,42	0,46	0,34	0,34	0,38	0,50	0,55	0,07	0,05
A/CNK				1,09	1,06	1,04	1,13	1,16	1,13	1,04	1,09	1,17	1,03	1,05	1,04
№ проб	1604 1640 1924 4014-1	1600 1843 1770	2504	1046	245 1738	1834	1230 1611	1754-1 343	1652 1592 1661 1686 1943	1755 1757-0	343-1 1074 1075 1309-3	НК- 1/5	НК-1/4	НК- 551/5	НК- 1333/ 1

Примечание. Использованы химические анализы КГЭ и ИГ КарНЦ (*). 1 – габбро-амфиболиты, метагаббро (AR); 2 – габбро-долериты (PR); 3 – метапироксениты; 4 – субщелочной диорит (без кварца и микроклина); 5 – монцодиориты и субщелочные кварцевые диориты; 6 – мигматизированный диорит; 7 – плагиогранит-порфир; 8 – плагио-микроклиновые граниты, гранито-гнейсы; 9 – субщелочной порфирированный микроклиновый гранит-порфир; 10 – жильный лейкогранит; 11 – субщелочные К-граниты, гранито-гнейсы. Уч. Кадиламп-1: 12 – тоналит, 13 – порфирированный микроклиновый гранит, 14 – калишпатовый метасоматит и 15 – альбит-микроклиновый метасоматит с магнетитом.

Для петрохимических диаграмм (рис. 2) использовались только данные химических анализов образцов горных пород, которые имели шлифы, тогда как обобщенное петрографическое описание дается по всем шлифам скважин и обнажений. Для простоты корреляции интрузивных комплексов западной Карелии с породами финской территории приведем краткую характеристику гранитоидов северной части пояса Хатту (средние значения химсоставов этих пород вынесены только на рис. 2).

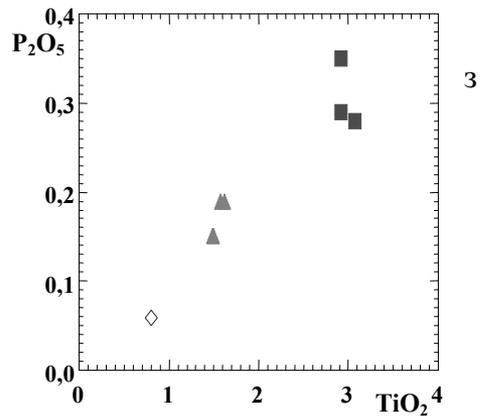
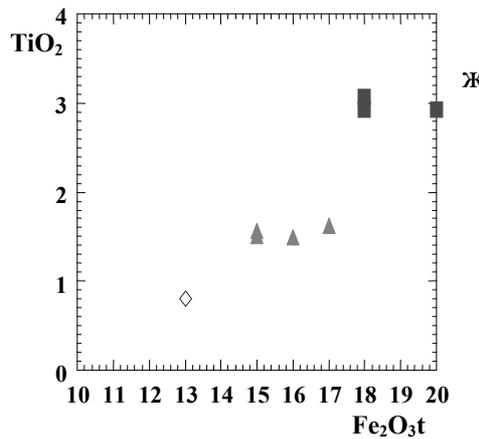
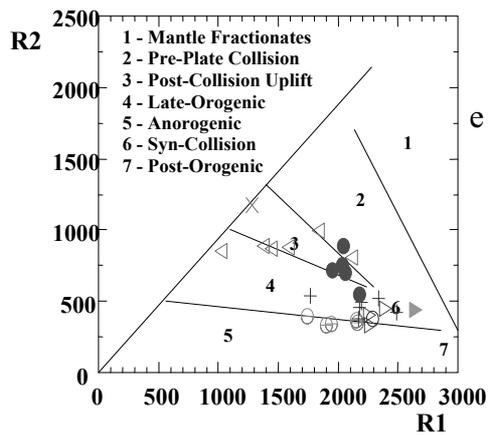
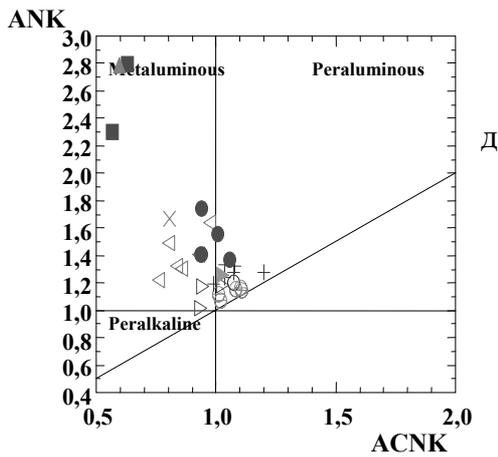
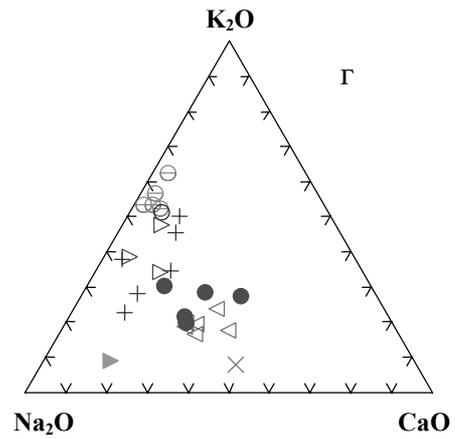
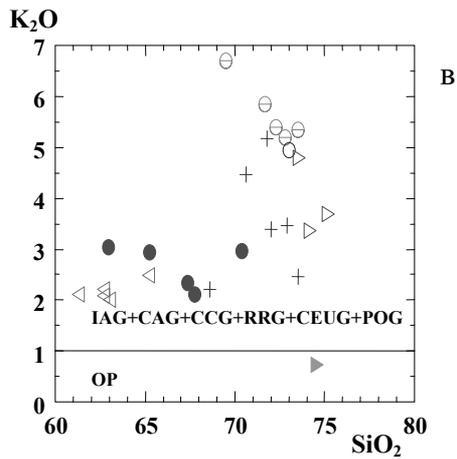
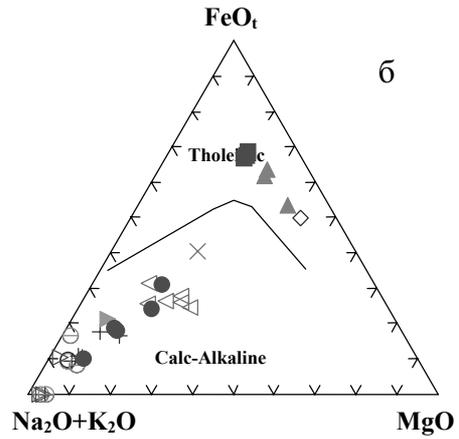
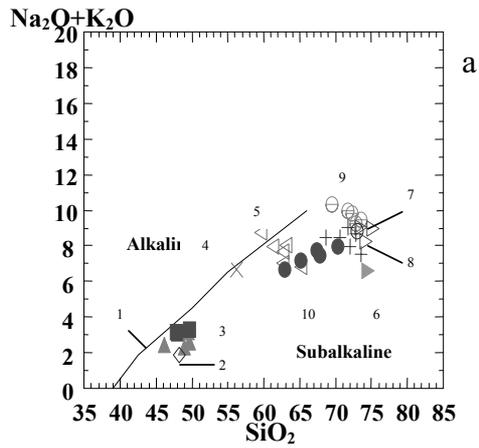
На финской территории в северной части пояса Хатту непосредственно к российской границе приурочен массив гранодиоритов Хойкан Килкейнен, близкий по составу и времени образования комплексу Вилуваара (2750±200 млн. лет). Он представлен серыми лейкократовыми гранодиоритами с вкрапленниками калиевого полевого шпата размером до 3–4 см. Порода содержит плагиоклаз, биотит, ро-

говую обманку, цоизит, хлорит. Массив иногда сопровождается дайками плагиопорфиров.

Тоналиты Корпиваара образуют небольшой плутон в юго-восточной части площадей Хоско и Кульюнки, они относятся к комплексу Куйттила (2745±11÷2748±6 млн лет). Это обычно серые, среднезернистые, рассланцованные биотитовые тоналиты, равномернозернистые, либо порфирированные с вкрапленниками плагиоклаза размером до 1 см. Массивы сопровождаются дайками. Комплекс Пампалонуро, расположенный несколько южнее рассматриваемой площади, включает крупное тело плагиопорфиров и серию сближенных даек. Породы характеризуются тонкозернистой основной массой с вкрапленниками плагиоклаза до 8 мм (плагиопорфиры, гранит-порфиры). Они сопоставляются с массивом Корпиваара, также относимым к комплексу Куйттила.

Рис. 2. Петрохимические диаграммы интрузивных пород северной приграничной площади:

a – SiO₂ – (Na₂O + K₂O); б – (Na₂O + K₂O) – FeO₁ – MgO; в – K₂O – SiO₂; г – Na₂O – K₂O – CaO; д – A/NK – A/CNK (A = Al₂O₃, C = CaO, N = Na₂O, K = K₂O); е – R2 – R1 (R1 = 4Si – 11(Na + K) – 2(Fe + Ti), R2 = 6Ca + 2Mg + Al); ж – TiO₂ – Fe₂O₃; з – P₂O₅ – TiO₂. 1 – габбро-амфиболит (AR), 2 – габбро-долерит (PR), 3 – пироксенит, 4 – диорит, 5 – кварцевые диориты – тоналиты, 6 – плагио-микроклиновые граниты, 7 – порфирированный микроклиновый гранит, 8 – жильные лейкограниты, 9 – К-граниты, гранито-гнейсы, 10 – тоналиты, гранодиориты и граниты зеленокаменного пояса Хатту (Geological development..., 1993)



К-граниты Картица тянутся вдоль СВ границы провинции Иломанси. Породы розовато-серые, мелкозернистые, рассланцованы и содержат К-полевой шпат, кварц, плагиоклаз, мусковит, биотит. Для них характерно разделение крупнозернистых микроклиновых прослоев мелкозернистой сланцеватой мусковитовой массой. Это иногда не позволяет четко сказать, содержат ли породы первичные фенокристи К-полевого шпата или являются мелкозернистыми вмещающими кислыми толщами, подвергнутыми интенсивному К-метасоматозу. Подобные явления К-порфиробластеза наблюдаются также и во вмещающих граувакках и порокластах.

Лейкограниты Наарва – двуслюдяные турмалино-содержащие граниты, образующие вытянутый синкинематический плутон в несколько километров шириной, переходящий в районе р. Хаапайоки на российскую территорию. Для гранитов характерна разная зернистость от аплитовидных до пегматоидных и собственно пегматитов, присутствие вкраплений турмалина и его розеток размером до 20 см. Граниты сложены плагиоклазом, кварцем, К-полевым шпатом, мусковитом и биотитом, вторичными минералами, иногда содержат гранат, турмалин, а также включения рассланцованных ксенолитов вмещающих пород. Возраст по монациту близких им лейкогранитов Луканваара равен 2696 млн лет.

Субщелочные гранодиориты Койтери образуют крупный плутон, расположенный в СЗ части площади и секущий вмещающие толщи и мигматиты. Породы представлены рассланцованными монцонитами и К-гранодиоритами. Они крупнозернистые, серого цвета с крупными, до 5–6 см, вкрапленниками К-полевого шпата, с роговой обманкой, биотитом и клинопироксеном, с акцессорными и вторичными минералами, содержат магнетит. Для монцонитов характерна повышенная магнитность. В пределах площади их развития выделяются трещинные зоны, выделенные магнетит-пироксеносодержащими породами, отчетливо фиксируемыми на аэромагнитных снимках (Geological development..., 1993). Пироксен замещается роговой обманкой, биотитом, хлоритом. Судя по описанию, вероятно, это щелочные метасоматиты, подобные встречающимся на нашей территории. В гранодоритах отмечается перекристаллизация кварца и плагиоклаза и их полигональные срастания, что вызывает у авторов предположения о позднеархейском либо протерозойском возрасте этих преобразований.

На участке Приграничный Северный среди вмещающих вулканогенных образований выделены следующие группы лопийских пород: 1 – серпентин-талк-тремолитовые сланцы по коматиитам; 2 – метабазальты, амфиболиты; 3 – метаморфизованные вулканогенно-осадочные толщи кислого и среднего состава, метаандезиты, гнейсы и сланцы по ним и их туфам. Они перекрываются сариолийскими базальтами – андезибазальтами и выше – ятулийскими кварцито-песчаниками.

В толще западнее оз. Кадилампи, сопоставляемой с формацией Пампало, основными членами лопийского разреза являются сланцы по коматиитам, имеющие серпентин-хлорит-талк-карбонат-тремолитовый состав. В них установлены реликты оливина, замещенного серпентином, и пироксен (5%), сыпь магнетита, хромит, единичные сульфиды, незначительно развит наложенный биотит. Талк в сланцах выделяется в виде мелко- и среднечешуйчатого в количестве до 10–20%.

Метабазальты и метаандезиты представлены амфиболитами с разным количеством плагиоклаза и роговой обманки. Метабазальты состоят из роговой обманки, плагиоклаза в разных соотношениях в зависимости от состава породы, в незначительном количестве кварца, эпидота, биотита, хлорита. Рудные и акцессорные минералы представлены ильменитом и сфеном (1–1,5%). Эпидозиты по базальтам сложены эпидотом с примесью актинолита и хлорита. Амфиболиты по базальтовым плагиопорфиритам содержат вкрапленники и гломеропорфировые срастания плагиоклаза в амфиболовой массе и относятся к известково-щелочной серии. Метаандезиты имеют более плагиоклазовый состав, часто с порфиробластическим развитием роговой обманки. В метаморфизованных породах среднего состава и их туфах (гнейсах и сланцах) среднее содержание SiO₂ составляет 59,37%, сумма щелочей 5,12%, Na₂O >> K₂O. Для них характерна более низкая магнезиальность и более высокая глиноземистость (Al₂O₃ 15,13%), чем в известково-щелочных базальтах, и глиноземистость ниже, чем в сариолийских андезибазальтах.

Вышезалегающие *метаандезито-базальты* протерозойского возраста (PR sr) отличаются вариолитовыми и гломеропорфировыми выделениями плагиоклаза (альбит-олигоклаза), неравномерностью распределения минералов, насыщенностью кварцевыми или карбонат-эпидотовыми минералами и более низкой степенью метаморфизма (зеленсланцевая фация). Породы содержат плагиоклаз, эпидот, хлорит, актинолит, биотит, кварц, карбонат, акцессорный ильменит. Для них характерно содержание SiO₂ 53,17–55,45%, в миндалекаменных разностях – до 64,6%, сумма щелочей колеблется в зависимости от количества плагиоклаза и биотита и составляет 4,8–7,37%, Na₂O >> K₂O. Для пород характерна высокая глиноземистость (Al₂O₃ – 16,65%).

Базитовые дайки архейского и протерозойского возрастов представлены: 1 – габбро-амфиболитами (AR), 2 – пироксенитами, 3 – шпинелевыми оливинными пироксенитами, 4 – габбро-долеритами (PR).

Среди лопийских базитовых даек чаще встречаются темно-зеленые мелко-среднезернистые *габбро-амфиболиты* с габбро-диабазовыми структурами, сланцеватыми или порфиробластическими текстурами. Минеральный состав пород представлен роговой обманкой, плагиоклазом, незначительным количеством кварца и вторичных минералов – эпидота, биотита, хлорита, акцессорным игольчатым апатитом,

незначительным количеством сфена, ильменита и титаномагнетита (1,5–2%, иногда до 5%). Количество биотита и хлорита, развивающегося по нему в зоне влияния гранитоидов, сильно увеличивается (до 10%). Метаморфизованы дайки, как и вмещающие породы, в условиях амфиболитовой фации. Для них характерно среднее содержание SiO_2 48,55%, TiO_2 1,55%, P_2O_5 0,17%, $K_f = 56\%$ (табл. 3). Сумма щелочей колеблется и в наименее измененных разностях составляет в среднем 2,64%.

Метатироксениты сложены амфиболом, замещающим пироксен. Количество биотита в них иногда достигает 15%, содержание TiO_2 – 0,8%. Роговая обманка и биотит замещаются хлоритом, карбонатом. Из аксессуарных и рудных минералов присутствует ильменит и сфен. *Шпинелевые оливинсодержащие тироксениты* содержат ромбический и моноклинный пироксен, оливин (5%). Из вторичных минералов по оливину развивается в незначительном количестве тальк, по пироксену – бесцветный амфибол (тремолит). Наложенный характер развития имеет биотит (2–3%, иногда до 10%), аксессуарные представлены сфеном, апатитом, зеленой шпинелью (герценитом), магнетитом.

Черные *габбро-долериты* (PR) отличаются средне-, крупнозернистым строением, массивной текстурой. Породы содержат моноклинный пироксен, иногда сдвойникованный (авгит), основной плагиоклаз (№ 60), титаномагнетит с решеткой распада ильменита (10–20%), кварц-альбитовые гранофировые сростки, аксессуарный игольчатый апатит, бедную сульфидную вкрапленность. Вторичные минералы представлены сине-зеленым амфиболом, биотитом и эпидотом, образующими коронарную кайму вокруг пироксена и биотита с ильменитом вокруг титаномагнетита. Слабые изменения габбро-долеритов отвечают условиям зеленосланцевой фации, в отличие от интенсивных метаморфических преобразований вмещающих пород и архейских габброидов, достигающих амфиболитовой фации. Для габбро-долеритов характерно среднее содержание SiO_2 48,47%, сумма щелочей 3,19%, сумма окисленного железа 18,67%, TiO_2 2,97%, P_2O_5 0,31%, V 0,061%, $K_f = 67\%$. Данный дайковый комплекс габбро-долеритов западной Карелии, по-видимому, может быть сопоставлен с высокотитанистым койкарско-пудожгорским комплексом.

Интрузивные комплексы средних и кислых пород нормальной и субщелочной серий представлены: 1 – диоритами, кварцевыми диоритами, тоналитами, гнейсами по ним, реже кварц-плагиогранит-порфирами; 2 – плагио-микроклиновыми порфирированными и равномернозернистыми гранодиоритами, гранитами и гранито-гнейсами; 3 – жильными лейкогранитами, 4 – К-гранитами, гранито-гнейсами.

Комплекс плагиогранитоидов (1-я подгруппа). Серые часто огнейсованные, иногда милонизированные известково-щелочные гранитоиды (диориты, кварцевые диориты, тоналиты, реже плагиогранит-порфи-

ры) представляют интерес как комплекс, с которым может быть связана золоторудная минерализация. Диориты и кварцевые роговообманковые диориты имеют существенно плагиоклазовый состав. В диоритах (обн. 6547, 6548, 6556, 1046) количество кварца не превышает 5%, из темноцветных минералов преобладает роговая обманка либо биотит, присутствуют эпидот, апатит, сфен, единичные сульфиды, апатит. Для кварцевых диоритов и тоналитов характерен биотит-кварц-плагиоклазовый состав, количество биотита колеблется от 3–5 до 25–30%, кварца – от 5–10% в диоритах и до 20–30% в тоналитах. В этой группе из вторичных, наложенных и аксессуарных минералов иногда отмечается микроклин, серицит, встречается эпидот, ортит, сфен, апатит, циркон. Для биотита характерен коричневато-болотно-зеленый цвет, эпидот обычно зональный, иногда обрастает ортит или сростается со сфеном. Микроклин встречается лишь как наложенный по зонам расщепления и вблизи кварцевых прожилков в ассоциации с серицитом, иногда гранатом, ильменитом. Серицит из участков расщепления ассоциирует с хлоритом и реже с карбонатом. Для комплекса характерна несколько повышенная щелочность в связи с развитием микроклина, некоторые измененные разности попадают даже в область субщелочных кварцевых диоритов (табл. 3, рис. 2).

Для пород характерно содержание SiO_2 от 56,2 до 62,42%, сумма щелочей от 6,64 до 7,7% (что более присуще породам с повышенной щелочностью), $mg = 0,47$ – $0,55$, $A/CNK = 1,09$ – $1,06$.

В порфиридных плагиогранитах в разностях с более массивной текстурой отчетливо выделяются вкрапленники плагиоклаза и кварца (С-17, 18, обн. 6529, 1834). Гранит-порфиры (обр. 1834) содержат SiO_2 74,6% (породы несколько окварцованы), Na_2O 5,9%, K_2O 0,72%, сумма щелочей равна 6,62%, $mg = 0,42$, $A/CNK = 1,13$. Порфириновые дайки содержат вкрапленники плагиоклаза или кварца и плагиоклаза в мелкозернистой массе, представленной плагиоклазом, кварцем, биотитом, с незначительным количеством эпидота, роговой обманки, микроклина, сфена, апатита (обн. 6283/2, 6403).

Комплекс К-На гранитоидов объединяет порфиридные и равномернозернистые плагиомикроклиновые граниты и гранодиориты. Породы отличаются серо-розовым цветом и присутствием более крупных порфирированных вкрапленников плагиоклаза и микроклина (до 1,5–2,5 см) в среднезернистой массе. Основная масса содержит плагиоклаз, микроклин, кварц, биотит, эвтектические сростания кварца с альбитом, в незначительном количестве сфен, апатит, циркон. Количество биотита составляет 5–15%. Среди вторичных минералов в них встречается эпидот, по плагиоклазу образуется серицит, по биотиту хлорит, а также в породе иногда развивается наложенный микроклин. В группе особо выделяются порфиридные граниты с вкрапленниками микроклина.

Для комплекса характерны содержания SiO_2 71,57–73%, сумма щелочей 8,36–8,86%, при колебании отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,37\text{--}0,79$. В порфировидных гранитах $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$, $\text{A}/\text{CNK} = 1,13\text{--}1,16$, $\text{mg} = 0,34\text{--}0,46$.

Мелкозернистые жильные лейкограниты (1754-1, 1755, 1757-1) имеют кварц-микроклин-плагиоклазовый состав, содержат незначительное количество темноцветных (биотит, хлорит до 5%), сфен и мусковит. Количество SiO_2 в них составляет 74,33%, Na_2O 4,8%, K_2O 3,95%, сумма щелочей – 8,75%, $\text{A}/\text{CNK} = 1,04$, $\text{mg} = 0,34$.

Комплекс розовых субщелочных К-гранитов и гранито-гнейсов отличается разной зернистостью и характеризуется содержанием микроклина в количестве 40–60%. Породы имеют разную зернистость в зависимости от субстрата, отличаются развитием микроклина по прослоям. Сопровождаются микроклиновыми пегматоидными разностями (в них количество микроклина достигает 80%). Граниты содержат микроклин, плагиоклаз, кварц, биотит, мусковит, среди вторичных, аксессуарных и рудных минералов обычны эпидот, сфен, апатит, ортит, единичные сульфиды. Для пород характерно среднее содержание SiO_2 около 72%, сумма щелочей 9,77%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, наиболее высокое содержание Ba до 0,08%, низкая магнезиальность ($\text{mg} = 0,38$), $\text{A}/\text{CNK} = 1,09$.

На петрохимических диаграммах (рис. 2) дайки архейских и протерозойских габброидов, выделенные в северной приграничной площади, отличаются содержанием суммарного железа, TiO_2 , V, P_2O_5 . Гранитоидные комплексы по петрохимическим характеристикам сопоставимы с плутонами пояса Хатту, однако среди них доминируют К-гранитоиды и микроклинизированные разновидности пород. В целом породы отличаются повышенной щелочностью и характеризуются $\text{A}/\text{CNK} = 1,06\text{--}1,16$. На геодинамической диаграмме гранитоиды попадают в область орогенных пост- и синколлизонных пород, кварцевые диориты и тоналиты – в область, близкую тоналитам и гранодиоритам комплексов Куйттила, Вилуваара, Силвеваара пояса Хатту.

Ведущие типы метасоматических изменений и рудная минерализация, сопровождающая их

Раннещелочные изменения. Формирование К-гранитов сопровождается микроклинизацией, развитой послойно (по сланцеватости), иногда в виде порфиробласт и в зальбандах кварцевых прожилков. Эти изменения накладываются на различные типы осадочных, вулканогенно-осадочных пород, плагиограниты и гнейсы.

К наиболее специфичным раннещелочным преобразованиям пород, широко распространенным на площади и наиболее на участке Шаверки, относятся калишпатовые и альбит-микроклиновые метасоматиты, сопровождающие субщелочной гранитоидный ком-

плекс и развитые самостоятельно (табл. 3/14–15). Для них характерен существенно полевошпатовый состав, высокое содержание микроклина, альбита, присутствие щелочного пироксена, роговой обманки, кварца, эпидота, реже биотита. Микроклин содержит пертиты распада альбита. Пироксен часто полностью замещается сине-зеленым субщелочным амфиболом, кварцем и сфеном в центре и эпидотом в кайме. Метасоматиты сопровождаются крупными кристаллами апатита, сфена, магнетита (до 20%), аксессуарным цирконом.

Грейзенизация и кварц-серицитовые изменения. Кислотные изменения наиболее широко развиты в зонах брекчирования и рассланцевания в гранитоидах Ca-Na и Na-K серий. Ранние более высокотемпературные изменения (грейзенизация) сопровождаются формированием кварцевого штокверка на участке Кадилампии-1 (восточная зона). Для них характерно образование микроклина, мусковита, кварца, а также эпидота и более крупнопластинчатого биотита (в зависимости от состава пород) в зальбандах кварцевых прожилков. Рудные минералы прожилков представлены вкрапленностью молибденита, халькопирита, пирита. Во внешнем ореоле штокверковой зоны, но иногда и совмещенно с ним развиты более поздние низкотемпературные кварц-серицитовые изменения, сопровождаемые вкрапленностью сульфидов, шеелитом, турмалином.

Кварц-серицитовые изменения фиксируются по зонам рассланцевания либо в зальбандах кварцевых прожилков в известково-щелочных гранитоидах и вмещающих их толщах и представлены ассоциациями серицита, кварца, альбита или же серицита, эпидота, микроклина, альбита, турмалина. Кварц выделяется как гранулированный, зернистый, белый матовый или сливной полупрозрачный, часто с многочисленными включениями в зонах рассланцевания и брекчирования, либо как мелкозернистый полупрозрачный в прожилках, с ним ассоциирует микроклин, иногда карбонат (в небольшом количестве). Поэтому данный тип изменений может быть отнесен к кварц-серицитовым – гумбеитовым. К зонам низкотемпературных изменений приурочена сульфидная вкрапленность (1–3%), представленная пиритом, пирротинном, халькопиритом, реже более редкая минерализация, пока не изученная детально. Она фиксируется появлением в анализах Se, Te, Bi, Zn. Подобные зоны рассланцевания и метасоматического преобразования являются перспективными на золото.

Геофизические исследования

Наземные геофизические работы (магниторазведка, электроразведка ВП и ВЭЗ) выполнялись по топографически разбитой сети на детальных участках Шаверки, Каппала, Кадилампии и по отдельным профилям. Магниторазведка проведена с использованием магнитометров «Минимаг», электроразведка в варианте ВПФ-СГ (фазовая модификация метода ВП установкой срединного градиента) комплексом производства «Казгеофизприбор». Аппаратура ВПФ по-

звоняет регистрировать dU пропускания и сдвиг фаз между током в питающей линии и напряжением в приемной. Угол сдвига фазы ВП (как правило, отрицательный) имеет линейную связь с коэффициентом поляризуемости (Комаров, 1972). Длина питающей линии установки срединного градиента составила не менее 1500 м, приемной – 40 м.

Данные магниторазведки использовались, в том числе, для геологического картирования и в комплексе с электроразведкой ВП позволили уточнить положение зон гидротермально-метасоматических изменений, перспективных на золото. Электроразведка методом ВЭЗ использовалась КГЭ для уточнения мощности и расчленения разреза четвертичных отложений. Результаты геофизического изучения территории представлены в виде графиков dT_a и ВП и приведены на рисунках (рис. 3–6) для отдельных участков.

Участок Шаверки. Геофизические работы на участках Шаверки-1 (западнее оз. Шаверки) и Шаверки-2 (южнее оз. Куслоки) были проведены в районе аномалии интенсивностью до 5000 нТл, выделенной по аэромагнитным данным. Развитие речной системы Шаверки не позволило разбить сеть профилей строго вкрест предполагаемого простирания пород. В результате 14 профилей участка Шаверки-1 и 7 профилей участка Шаверки-2, имеющих СЗ простирание, пересекают основные структуры под острым углом, что существенно затрудняет интерпретацию геофизических данных.

Развитые в СВ части участка пироксениты, подсеченные С-2 и 8, обусловили область отрицательного магнитного поля интенсивностью порядка -150 нТл без существенных градиентов сопротивления и поляризуемости. Изолированные симметричные магнитные аномалии интенсивностью до 400 нТл вызваны дайковыми телами габбро, одно из которых подсечено С-2. Аэромагнитная аномалия, по всей видимости, отражает область развития щелочных метасоматитов, обогащенных магнетитом. По результатам наземной магнитной съемки она распадается на ряд интенсивных (до 4000–7000 нТл) аномалий сложной формы с резкими градиентами. Телам гранитов и гранодиоритов, зафиксированным в скважинах и обнажениях, соответствуют участки спокойного отрицательного приведенного магнитного поля с амплитудой от -50 до -100 нТл.

Участок Кадилампи-1. Геофизические наблюдения на участке Кадилампи-1 выполнены по сети 50×20 м для электроразведочных работ и 50×10 м для магниторазведки (рис. 3).

Характер магнитного поля (рис. 3, а) в восточной и центральной частях участка спокойный, без существенных градиентов. Интенсивность приведенных значений составляет от -150 до -200 нТл, что характерно для зафиксированного в обнажениях гранитного тела. Оси положительных магнитных аномалий в западной части с интенсивностью до 300–500 нТл можно сопоставить с зонами повышенного (до 9500 Ом \times м) кажущегося удельного сопротивления (ано-

малии № 1 и № 2) и существенного отклонения сдвига фазы ВП порядка $-1,2^\circ$. Вероятно, это связано с развитием в краевой части гранитного интрузива метасоматитов по вмещающим породам с повышенным содержанием магнетита и сульфидов. Подобные образования выявлены в обнажениях севернее детального участка (рис. 2).

В центральной части участка Кадилампи-1 зафиксированы две линейные системы зон повышенного (до 10 000–12 000 Ом \times м) кажущегося удельного сопротивления, не находящие отражения в магнитном поле. Оси аномалий № 4–7 имеют ССВ (субмеридиональное) простирание, а № 2 – аз. 340° . Зоны № 4, 5 и 6 прослежены на 50–150 м и имеют мощность от 50 до 100 м. Наиболее протяженной является зона № 7, по всей видимости выходящая за область проведения геофизических работ, а ее мощность на некоторых профилях превышает 100 м. Четкого сопоставления со значениями угла сдвига фазы ВП также не выявлено, лишь на ПР 5 ПК 280 зафиксировано существенное отклонение $-1,26^\circ$, попадающее в область зоны № 4. Опираясь на результаты геологического изучения обнажений, канав и скважин на площади детального участка, можно сделать предположение о штокверковом окварцевании гранитного интрузива и развитии кварцевых прожилков по системе ослабленных зон с доминирующим субмеридиональным и менее выраженным СЗ направлением. Области наибольшего скопления кварцевых прожилков и интенсивного прокварцевания пород обусловили повышение удельного сопротивления. Присутствующие в кварцевых жилах рудные включения вкрапленно-прожилковой минерализации молибденита и других сульфидов, отмеченные в скважинах и канавах, не нашли отражения в геофизических полях по причине малой концентрации и вкрапленного характера распределения по непроявляющейся массе. Увеличение поляризуемости на ПР 5 ПК 280, по-видимому, приурочено к локальному повышению концентрации рудных минералов.

Наличие инженерных сооружений не позволило продлить сеть наблюдений в широтном направлении на запад и четко зафиксировать границы гранитного интрузива по геофизическим данным.

Участок Кадилампи-2. Геофизические исследования на детальном участке проводились по сети 10×50 м для магниторазведки и 20×50 м для электроразведки (рис. 4). Породы, слагающие участок Кадилампи-2, контрастно выделяются в физических полях. Условно его площадь можно разделить на две части – области относительно спокойных и аномальных полей (рис. 4, а).

В западной части участка аномальное магнитное поле имеет спокойный характер с интенсивностью от -800 до -200 нТл (относительно приведенного уровня 53 000 нТл). По данным электропрофилирования здесь можно выделить породы с кажущимся удельным сопротивлением порядка 4000 Ом \times м ПР 3, ПК 0–ПК 100 м, и 5500 – 6000 Ом \times м ПР 3, ПК 100–ПК 250 м (рис. 4, б).

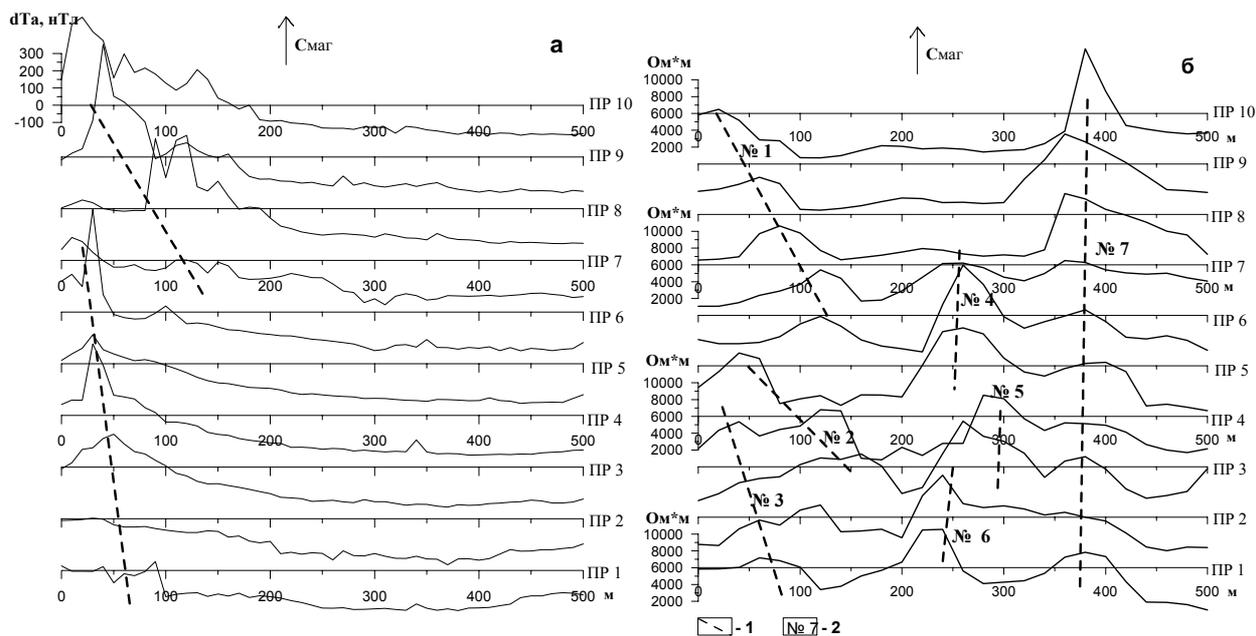


Рис. 3. План графиков аномального магнитного поля (а) и кажущегося удельного сопротивления (б) на участке Кадилампи-1:

1 – оси аномалий; 2 – номера аномальных зон. Здесь и на рис. 4–6: сплошная линия – dT_a , пунктирная линия – график фВП, точка – тире – график ρ_k ; $T_{норм} = 53\,000$ нТл

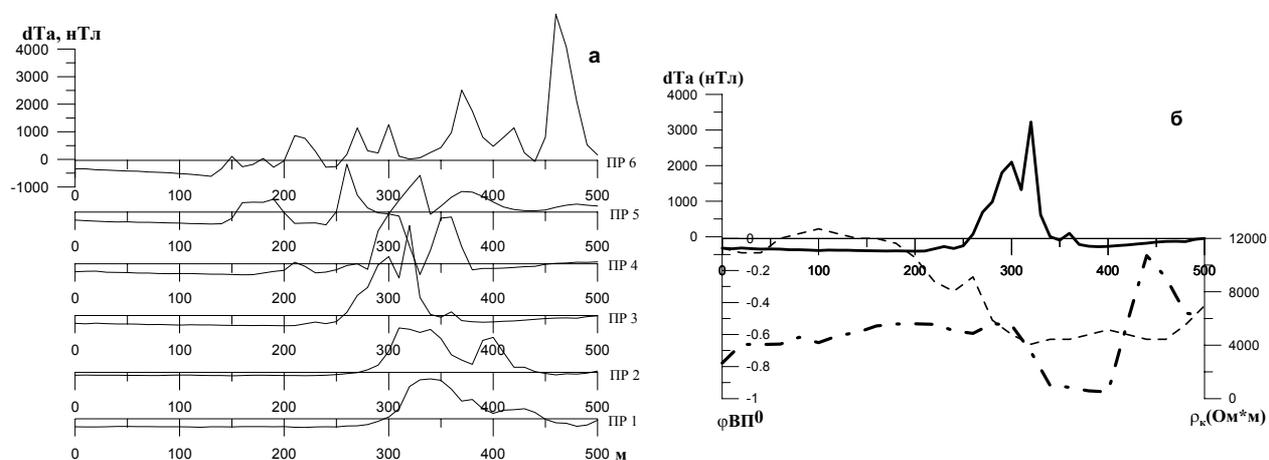


Рис. 4. План графиков аномального магнитного поля (а) и графиков наблюдаемых геофизических параметров по ПР 3 (б) детального участка Кадилампи-2

Основная аномальная зона в центральной части участка со значениями dT_a до 3000 нТл четко прослеживается по данным магнитной съемки от ПР 1 ПК 320–380 до ПР 6 ПК 200–ПК 250, азимут простираения оси аномалий 320–330°. По всем профилям наблюдается смещение центров аномалий сдвига фаз ВП и кажущегося удельного сопротивления на 50 м в восточном направлении относительно магнитных аномалий. Максимальное отклонение фазового сдвига в аномальной зоне составляет от $-0,9^\circ$ до $-1,71^\circ$, а минимальные значения ρ_k 1500–3000 Ом·м. СВ часть участка характеризуется наличием ряда магнитных аномалий, также связанных со смещенными относительно их максимума аномалиями фВП, ρ_k .

По результатам графической интерпретации магнитных аномалий, выделенных в центральной части участка, аномалеобразующий объект можно аппроксимировать субвертикальным пластоподобным телом (с предполагаемым западным падением), выходящим на уровень эрозионного среза под четвертичными отложениями. Мощность этого тела около 20–50 м. Сопоставляя результаты геофизических работ с имеющимися геологическими данными, можно сказать, что источником интенсивных магнитных аномалий служит развитый на данной территории дайковый комплекс габбро-долеритов с k порядка 10^{-2} ед. СИ. Смещение аномалий параметров фВП, ρ_k , ве-

роятно, связано с наличием вкрапленной сульфидной минерализации в восточном контакте интрузива. Лишь одно дайковое тело пересекает весь детальный участок с ЮВ на СЗ (азимут его простирания 320–330°). В СВ части участка подсечены краевые зоны аналогичных даек. Со спокойными участками кривых магнитных аномалий, соответствующих базальтам и гранитам, сопряжены участки кривой с ρ_k до 4000 Ом×м и ρ_k 5500–6000 Ом×м, соответственно.

Профиль Каппала – Горное. От оз. Горного до северной оконечности оз. Каппала геофизические работы проведены по отдельному профилю с аз. 280°. Магниторазведка выполнена по всей его длине (3500 м) с шагом 10 м, а электроразведка до ПК 2900 шагом 20 м (рис. 5).

Западная часть профиля характеризуется спокойным приведенным магнитным полем со значениями от 50 до 100 нТл в области ПК 3500–ПК 3200 и от –100 до –150 нТл в области ПК 3200–ПК 2650. Они приурочены к зонам развития полосчатых гнейсов по вмещающей толще среднего состава и К-гранитов, соответственно. Более дробное деление описанной области невозможно из-за отсутствия параметров ρ_k и фВП.

По результатам интерпретации интенсивной изолированной аномалии (3500 нТл, ПК 2525) возмущающим объектом служит субвертикальная дайка протерозойских габбро-долеритов, подсеченная на ПК 2525 скважиной С-62 и обогащенная титаномagnetитом. Ее мощность, устанавливаемая по геофизическим данным, порядка 50 м, падение субвертикальное с возможным западным отклонением. Понижения ρ_k до 5000 Ом×м совпадают с обоим экзоконтактами. Увеличение угла сдвига фазы ВП до –1,1° на ПК 2500 приурочено к предполагаемому лежащему эндоконтакту дайки. Это, вероятно, связано, как на участке Кадиламп-2, с сульфидной вкрапленностью.

Сходный геологический объект, вскрытый С-53, в зоне ПК 1125–ПК 1150. В месте пересечения профиля его расчетная мощность не превышает 25 м. Тело отражается в приведенном магнитном поле аномалией интенсивностью 300 нТл. Повышение поляризуемости на ПК 1200 –1,2° и ПК 1025 –1,4° и падение сопротивления на ПК 1225 и ПК 1050 наблюдаются на обоих экзоконтактах зафиксированного интрузивного тела, относимого по данным скважины к архейским габбро-амфиболитам.

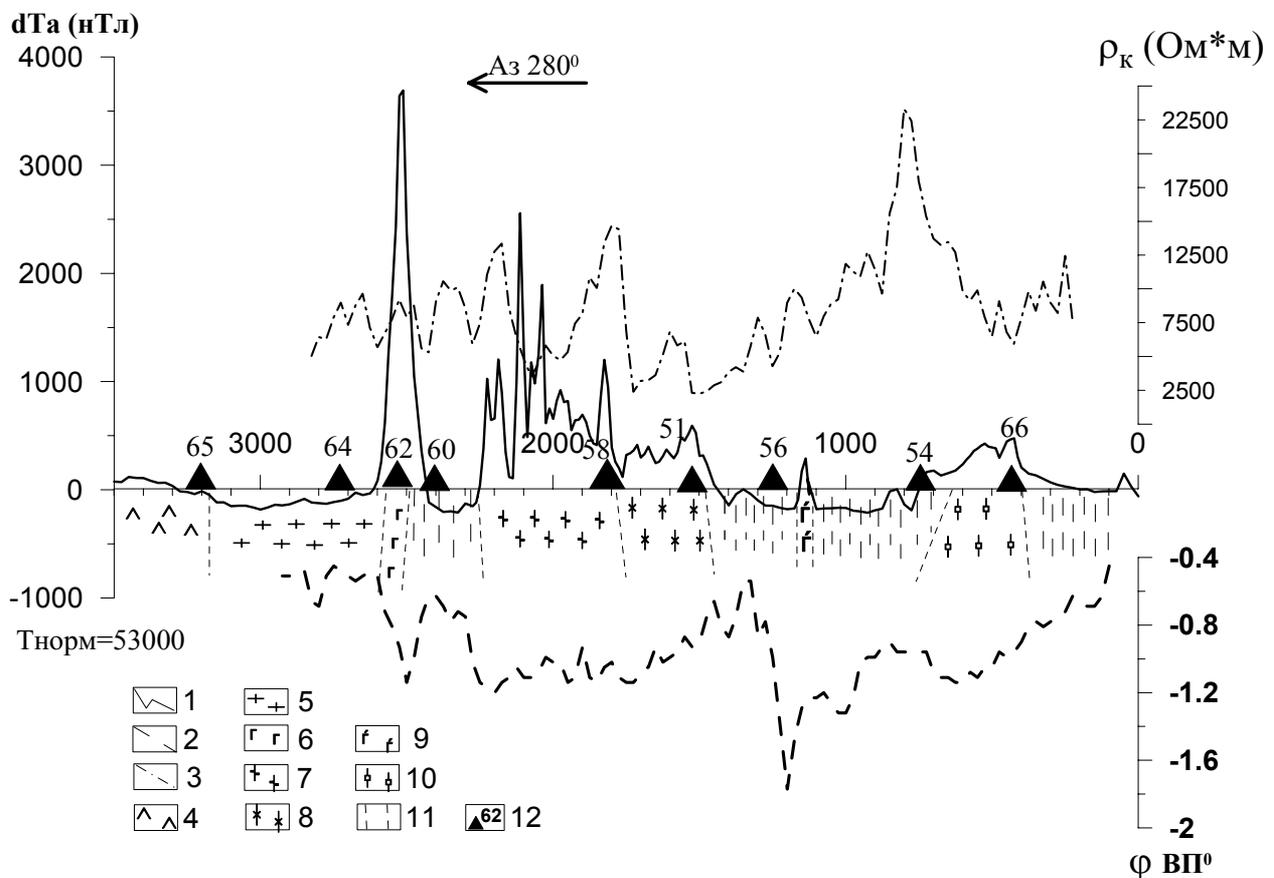


Рис. 5. Результаты геофизических наблюдений по профилю Каппала – Горное:

1 – Тнорм = 53 000 нТл; 2 – график параметра фВП; 3 – график кажущегося удельного сопротивления; 4 – полосчатые гнейсы; 5 – К-граниты; 6 – габбро-долериты (PR); 7 – метасоматиты; 8 – К-метасоматиты; 9 – габбро-амфиболиты (AR); 10 – амфиболиты по базальтам; 11 – сланцы среднего – основного состава; 12 – скважины и их номера

На профиле Каппала – Горное в интервале от ПК 1450 до ПК 2250 выделены два типа высокомагнитных пород. Первый тип (ПК 1450–ПК 750) отражается в повышении интенсивности полного вектора магнитной индукции до 400–500 нТл и ρ_k порядка 4000–6000 Ом·м. Область развития пород второго типа характеризуется более значительными градиентами магнитного поля (до 1200 нТл), увеличением в краевых зонах кажущегося удельного сопротивления до 14 000 Ом·м и слабым повышением фВП до $-1,2^\circ$ относительно 6000 Ом·м и $-1,05^\circ$ в ее центральной части. Данные магниторазведки позволяют сказать, что оба типа в разной степени обогащены магнетитом. По скважинам 58–59 установлено, что наиболее высокие градиенты магнитного поля характерны для 2-го типа пород биотит-амфибол-магнетитовых сланцев и К-метасоматитов с магнетитом. В С-51 вскрыты лишь К-метасоматиты.

В восточной области профиля выделены сланцы и амфиболиты по базальтам (ПК 400–ПК 750). Неравномерное распределение геофизических параметров в указанной зоне, скорее всего, вызвано рассланцованностью и неоднородным строением аномалеобразующего объекта.

Участок Каппала по данным аэрогеофизической съемки прослеживается на продолжении рудоперспективной зоны домена Хоско. Участок полностью перекрыт водно-ледниковыми и болотными отложениями повышенной мощности и требует заверки бурением. Схема наблюдений на участке Каппала (рис. 6) включала 16 профилей СВ направления, расстояние между которыми было 250 м. Первые 7 профилей ограничены по длине (1500 м) береговой линией оз. Картициан. Остальные 9 (с 8-го по 16-й) имеют длину 2500 м за исключением 14–16-го профилей, разрыв которых вызван оз. Каппала.

Большинство выделенных на участке аномалий прослеживаются в СВ направлении. СЗ часть участка характеризуется наличием интенсивных положительных аномалий полного вектора магнитной индукции, имеющих сложную пилообразную форму (рис. 6, а). ЮВ часть участка отличает спокойное отрицательное магнитное поле интенсивностью от -300 до -400 нТл с локальными положительными аномалиями изометричной формы до 800 нТл (ПР 3, ПК 535). Разделяющая область граница проходит от ПР 3 до ПР 14 в районе пикетов 1000 м.

Ряд узких положительных магнитных аномалий прослеживается от ПР 1 ПК 300 до ПР 10 ПК 490. Несмотря на то что на ПР 2 ПК 375 и ПР 5 ПК 380 они имеют по два максимума, а на ПР 3 ПК 310 и 535 и ПР 4 ПК 300 и 470 образуют по две изолированные аномалии, форма, пространственное положение и результаты интерпретации дают возможность отнести их к одному субвертикальному аномалеобразующему объекту с горизонтальной мощностью до 30 м и азимутом простирания порядка $40\text{--}47^\circ$. Описанные магнитные аномалии можно соотнести с повышениями параметра ρ_k и аномалиями фВП (ПР 3 от ПК 300 до ПК 600). Смещение максимумов аномальных значений магнитного и элект-

рического поля по профилю до 50 м вызвано тем, что направление намагничивания объекта, возможно, отличается от вертикального и центр магнитной аномалии смещен относительно центра тела. Данные по скважинам указывают на то, что аномалеобразующим объектом является дайковое тело габбро-амфиболитов.

Слабые повышения (до -50 нТл) в отрицательном магнитном поле, фиксируемые на ПР 9–12 в районе ПК 150, могут быть сопоставлены с повышением ρ_k до 30 000–34 000 Ом·м и отклонением фВП на $0,2\text{--}0,3^\circ$ (ПР 9 ПК 100–150, рис. 6, б). Аномалеобразующий объект в данном случае аппроксимируется субвертикальным пластовым телом с горизонтальной мощностью до 60 м.

На всех профилях от ПК 1000 до 2500 магнитное и электрическое поля имеют сложный характер. Значения dТа достигают 1700–2000 нТл, а параметр ρ_k варьирует от 5000 до 30 000 Ом·м. Зонам с пониженным, а часто и отрицательным магнитным полем соответствуют участки кривой ρ_k с максимальными значениями (от ПР 9 ПК 2350–2500 до ПР 15 ПК 2050–2500, от ПР 1 ПК 1000–1500 до ПР 2 ПК 1250–1500; от ПР 4 ПК 1450–1500 до ПР 13 ПК 1650–1800), тогда как в зонах с максимальными значениями и градиентами dТа кажущееся удельное сопротивление не превышает 20 000 Ом·м. Изрезанная форма положительных аномалий dТа в этих зонах свидетельствует о неравномерном распределении магнитных минералов по породе, ее рассланцованности и наличии различного рода нарушений, что предполагает развитие магнетитосодержащих пород или щелочных метасоматитов с неравномерным распределением магнетита.

Область спокойных геофизических полей, в ЮВ части участка, характеризует вмещающую толщу вулканогенно-осадочных пород, уверенное разделение которой по геофизическим параметрам не представляется возможным.

Южная часть площади. Участки Кайдолампи, Перти, Ниж. Айттоярви выделены по геофизическим и геохимическим данным и представляют интерес в связи с обнаруженными здесь геохимическими аномалиями. Участок Ниж. Айттоярви в южной части площади сложен базальтами и прорывается габбро-долеритами, которые выделяются по аномальным полям dТа и ВП.

Таким образом, благодаря детальным геофизическим работам было уточнено на местности положение магнитных аномалий, предварительно выделенных по данным аэромагнитной съемки. По результатам магниторазведки по интенсивным аномалиям dТа откартированы тела габбро-долеритов с титаномагнетитовым оруденением (участки Кадилампи-2 и Каппала – Горное), магнетитосодержащие щелочные метасоматиты и магнетитосодержащие вмещающие породы (Шаверки-1, Каппала). Аномалиями dТа слабой интенсивности в комплексе с аномалиями ВП выделены зоны метасоматитов с пирротитовой минерализацией на контакте с телом габбро-долеритов на участке Кадилампи-2, Каппала – Горное.

Для рудопродуцирующего комплекса гранитоидов (тип Кадиламп) характерны значения dT_a -150 – -200 нТл. Данные массивы контрастно выделяются среди вмещающей толщи среднего состава и особенно отличаются от магнетитсодержащих пачек. От других выделяемых на площади комплексов гранитов по данным магниторазведки плагиомикроклиновые граниты Кадиламп не отличаются. При поисках сульфидно-кварцевой минерализации (молибденитовой и золото-кварцевой), ассоциирующей с гранитами, следует учитывать данные, полученные по участку Кадиламп-1: повышенное удельное сопротивление соответствует области наибольшего скопления кварцевых прожилков и зонам интенсивного прокварцевания. Присутствующие в кварцевых жилах включения рудной минерализации (молибденита и других сульфидов), отмеченные в скважинах и канавах, не нашли отражения в геофизических полях по причине их малой концентрации и вкрапленного характера распределения по непроводящей массе. Однако при более высокой концентрации сульфидов можно ожидать увеличение поляризуемости.

Перспективы рудоносности площади работ

Геохимические исследования. Исследования отобранных КГЭ коренных проб и морены выполнялись методом ICP в лаборатории Геологической Службы Финляндии. По геохимическим данным, полученным КГЭ, для Северной Приграничной площади были выделены аномальные потоки рассеяния Au, Ag, As, Sb, Cu. Они тяготеют к северо-западному (район озер Веркоярви, Гуйлли, Корби, Киви) и северо-восточному бортам зеленокаменного пояса (СЗ оз. Шаверки) и его южной части (оз. Перти).

Данные геохимического опробования морены, отобранной из шурфов, показали низкие концентрации Au и элементов-спутников в верхних частях этих отложений. Даже в тяжелой фракции шлиховых проб уровень содержания этих элементов повышался незначительно. Более высокие концентрации Au (от 0,1 г/т и выше) и элементов-спутников были установлены при донном опробовании приплотиковой части морены в буровых скважинах. Здесь выявлена слабая корреляция Au с Bi, Te, а аномалии Au, Te, Se, Sb в морене района озер Корби, Киви в целом совпали с аномалиями элементов-спутников золота по донному опробованию.

Более устойчивая положительная корреляция Au с Cu, Se, Bi, Te, а также с Ag, Ba, Co, Mo, S, Zn (а иногда с Ti, V) была установлена в коренных породах. Такие аномалии развиты у озер Куслочки, Шаверки, Солуха, Кадиламп – Горное.

Отбор шлихов проводился из шурфов и скважин преимущественно в тех же точках, где отбирались геохимические моренные пробы. Минералогический анализ шлихов выполнялся в КГЭ. По ее данным выявлены ореолы золота в количестве до 1–5 знаков размером 0,1–0,2 мм в пределах выделенных участ-

ков. Основные аномалии оказались расположенными в пределах наиболее перспективного участка Кадиламп.

Перспективы рудоносности площади. По результатам проведенных геохимических работ КГЭ были намечены перспективные на Au, МПГ, Мо участки – Каппала, Кадиламп, Шаверки, Куслочки и др. (Юдин, 2004). Некоторые из них выделены по вторичным ореолам – Киви, Ниж. Айттоярви (Cu, Zn), Кайдоламп (Au и Zn, Se), Перти (Cu, Zn, Ag до 112 г/т, Mo, Sb, As).

Южнее оз. Куслочки в скважинах С-15–17 были выявлены первичные ореолы рассеяния золота (до 0,2 г/т), сопровождаемые ореолами золота и его спутников в моренных отложениях, и вскрыта зона окварцевания в лопийских гранитах вблизи контакта с протерозойскими образованиями. В С-17–20 в измененных тоналитах методом ICP установлено: Ba 27,9–106 г/т (в измененных гранитах С-19 с прожилками микроклина, карбоната, серицита и сульфидами – до 228 г/т Ba), Li до 23,8, La до 57,8, Sr до 105, Co до 13,2, Ni до 7,63, Mn до 709, Cr до 115, Cu 4,9–435, Zn до 89,9 г/т; Bi до 46,6 мг/т, Se 104–399, Te 72, 7–463, Sb до 11,6, Au 6,89–225 мг/т; S до 0,145–0,732%.

Так как для северного участка Шаверки-1 характерно широкое развитие щелочных метасоматитов, содержащих апатит, сфен, титаномагнетит, ильменит, циркон, перспективы его связаны с редкоземельными элементами: Y 9,35–28,8 г/т, La 19,8–74,1, Zr 8,66–22,9, Sr 32,8–311, Ba 41,7–140, P до 2650, Ti до 3290, а также Mn 125–561 в г/т, иногда S, Cu (метод ICP, данные по С-5, 11, 28, 45, 51). Для ЮВ фланга участка Шаверки, южнее одноименной реки, в зонах изменения в гранитоидах, характерно появление элементов-спутников золота (Se, Te, Bi) на уровне, соответствующем околорудным ореолам.

На участке Солуха на восточном окончании профиля (С-37–41) в измененных К-Na-гранитах в зонах расланцевания и метасоматического преобразования выявлена вкрапленная сульфидная минерализация и установлены следующие содержания элементов, характеризующие эту зону: Ba 95,2–371 г/т, Li до 66,1, La до 158, Mo до 9,67, Bi 2,5–43,4, As 15, Co 5,44–36,8, Ni до 67,3, Mn 45,2–1420, Cr до 109, Cu 3,35–411,9 г/т, Se 18,2–224, Te 12–82, Sb до 28,7, Au до 9,56 мг/т; S до 1,61%.

Западнее оз. Кадиламп на профиле Каппала – Кадиламп геохимическая аномалия приурочена к зоне изменений вблизи контакта гранитов с толщей вулканитов ультраосновного-основного состава. Рудная минерализация в коренных породах представлена сульфидной вкрапленностью (до 1%). Аномалия характеризуется повышенными содержаниями (по С-73, 76–77): Cu 13,8–289 г/т, Zn 49,3–86,3 г/т, Te 13,9–85,2 мг/т, Se от 31,3–85,2 до 300 мг/т в измененных габброидах на контакте с гранитами.

Перспективы участка Кадиламп-2 связаны с дайками протерозойских габбро-долеритов, которые сопровождаются вкрапленным титаномагнетитовым

оруденением с содержанием оксидов 10–25%, суммарного окисленного железа до 18,5–18,9%, TiO_2 до 3,66%, V до 0,52–0,6%, P_2O_5 до 0,25–0,36%, Cu до 0,09%, МПГ и сопутствующим Au до 0,1–0,48 г/т. Южнее описываемой территории к югу от оз. Вуотоярви, по данным А. С. Еина, в дайках габбро-долеритов установлены содержания МПГ до 0,4 г/т и Au до 1 г/т.

На участках Кайдолампи, Кадиламп-1, Горный, Солуха, Куслоки большинство геохимических аномалий сосредоточено в субмеридиональной зоне, которую можно выделить как наиболее перспективную шир-зону Кадиламп – Куслоки – полосу протяженностью около 12 км и мощностью до 300 м. В пределах этой зоны по вмещающим толщам и в центральной части участка Кадиламп-1 по гранитоидам развиваются рассланцованные и метасоматически измененные породы. Для участка Горного более характерно развитие калишпатовых метасоматитов, для Кадиламп-1 – грейзенизация и серицитизация. Зона щелочных изменений и грейзенизации прослеживается от участка Горного к северу и подсекается в скважинах восточной части бурового профиля участка Солуха.

Участок Горный разбурен скважинами С-111–115, 234–235, здесь пройдены каналы К-563, 550–552, которые вскрыли щелочные метасоматиты, содержащие магнетит, сфен, апатит, с наложенными сульфидно-кварцевыми прожилками. Эти метасоматиты хорошо выделяются по данным магниторазведки аномалиями dTa и геохимическим аномалиям Mo, Au, Cu, Se, Te, Zn, Sb и в том числе Р. В С-111 к зоне сульфидной минерализации в амфиболитах приурочена комплексная аномалия Au, Cu, Se. В С-113 в метасоматитах с сульфидно-кварцевой минерализацией содержание Au достигает 0,34 г/т, Cu – 0,65%. В С-115 установлены концентрации Р до 3%, Cu 0,17%, Se 1,48 г/т. В К-563 в интервале мощностью 2,8 м в щелочных метасоматитах с халькопирит-молибденит-кварцевой вкрапленно-прожилковой минерализацией выявлены содержания Mo 0,017%, Cu 0,1%, Au 0,13 г/т. Следует отметить, что геохимические аномалии участка Горного совмещают химические элементы разных генетических типов рудной минерализации.

На участке Кадиламп-1 к центральной части небольшого гранитного массива приурочена штокверковая зона прокварцевания и вкрапленная сульфидная минерализация. В зоне изменения гранитов развиты кварцевые прожилки и многостадийные кислотные преобразования типа грейзенизации, окварцевания, турмалинизации, серицитизации. Рудная минерализация представлена молибденитом, халькопиритом, пиритом, реже пирротином, сульфидами полиметаллов, шеелитом, золотом. Молибденит выделяется в виде мелких и средних по размеру чешуек. Метасоматически измененные гранитоиды на всю мощность штокверковой зоны (около 100 м) характеризуются аномальными содержаниями Au, его спутников и Mo. При опробовании четвертичных отложе-

ний в пределах участка Кадиламп-1 были выявлены геохимические аномалии Au, Mo, Cu, Se, Te, Sb, Pb, в приплотиковой морене зафиксированы аномалии Au и Te, в коренных породах установлен первичный ореол Au с содержаниями до 0,3 г/т.

В центральной части массива более детально был обследован детальный участок площадью 100×200 м в грейзенизированных гранитах с прожилками кварца, турмалином и сульфидами. На этом участке прожилки развиваются по нескольким доминирующим системам трещин – СЗ и ССВ. Наиболее богатое молибденовое оруденение (1–1,53%) установлено в восточной части зоны и в К-564. К западу вквост простирания зоны молибденитовая минерализация сменяется золото-халькопирит-пиритовой, а содержания Au возрастают до 5,3 г/т. Au сопровождается аномалиями Cu, Se, Te. В К-564 в интервале мощностью 3,8 м установлены содержания Cu 0,16%, Mo 0,146%, Au 1,16 г/т, Bi 0,745 г/т, Sb 0,01 г/т, Se 0,784 г/т, Te 1,134 г/т. В целом оруденение относится к комплексному золото-сульфидному – медно-молибденовому (или же золото-редкометалльному).

Заключение

Таким образом, благодаря геологическим и геофизическим исследованиям, проведенным КГЭ на участке Приграничный Северный, прослежено продолжение свит северной части зеленокаменного пояса Хатту на российской территории, оконтурены гранитоидные массивы, выявлены высокомагнитные породы – толщи коматиитов, магнетитсодержащие сланцы, дайки протерозойских габбро-долеритов и щелочные метасоматиты с магнетитовой и редкоземельной минерализацией. Выявлены диорит-тоналитовый и гранодиорит-гранитный комплексы, по своим петрохимическим свойствам близкие комплексам Куйттила и Вилуваара, сопровождающиеся золоторудной минерализацией. К штокверковой зоне центральной части массива Кадиламп приурочена молибденитовая и золото-сульфидная минерализация. В его СВ контактовой зоне и на участке Горном обнаружено совмещение двух типов метасоматической зональности (щелочной и кислотной). Щелочные метасоматиты более развиты на участке Горном, к ним также приурочена сульфидно-кварцевая прожилковая минерализация. Благодаря геохимическим поискам, проведенным КГЭ, в пределах площади установлены проявления и пункты минерализации золота Куслоки, Шаверки, Солуха, Кадиламп, Горное, Каппала. С габбро-долеритами связано титаномagnetитовое оруденение с сопутствующими МПГ и Au. Основные перспективы обнаружения золота связаны с массивами типа Кадиламп и шир-зонами в них и их ореолах, выделяемых в гранитах по аномалиям повышенного сопротивления. Наиболее четко выделялась перспективная на поиски золоторудной минерализации субмеридиональная шир-зона Кадиламп – Куслоки.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов В. Н. Отчет о результатах опережающей комплексной АГСМЭ съемки м-ба 1 : 50 000 в пределах приграничной площади Западно-Карельского блока в 1994–96 годах. Петрозаводск. ТГФ. 1997.

Беда В. А., Пахтель И. А., Хорев Н. А. и др. Отчет Южно-Карельской партии о результатах гравиметрической съемки м-ба 1: 200 000 в Центральной Карелии и м-ба 1 : 50 000 в Лоухском районе КАССР (Сосновецкий участок) за 1971–72 гг. ЗГТ. 1973. Фонды СЗТГУ.

Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., 1972. 344 с.

Юдин С.Н. Информационный отчет о результатах поисков месторождений золота и МПГ на участке Приграничный Северный в пределах гранит-зеленокаменной области Ялонвара – Иломантси за 2004 г. Петрозаводск. ТГФ. 2004.

Geological development, gold mineralization and exploration methos in the Cate Archean Hattu Shist belt, Ilomantsi, eastern Finland. Ed. by Pekka A. Nurmi and P. Sorjonen-Ward // Geological Survey of Finland. Sp. paper 17. Espoo. 1993. 386 p.