

Д.В. ЮСУПОВ



Дмитрий Валерьевич Юсупов родился в 1977 году. В 1999 окончил Благовещенский государственный педагогический университет по специальности «география». Работал научным сотрудником в Амурском комплексном научно-исследовательском институте ДВО РАН.

В 2009 в Санкт-Петербургском государственном горном институте им. Г.В. Плеханова защитил кандидатскую диссертацию на тему «Биогеохимический и минералогический методы поисков месторождений благородных и цветных металлов (на примере Верхнего Приамурья)». В книге отражены сегодняшние представления автора по данной теме.

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО И
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ
ПОИСКОВ В ЗОЛОТОНОСНЫХ РАЙОНАХ
ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ**



Издательство АмГУ

*Министерство образования и науки Российской Федерации
Амурский государственный университет
Российское минералогическое общество, Амурское отделение*

Д.В. Юсупов

ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО
И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО
МЕТОДОВ ПОИСКОВ
В ЗОЛОТОНОСНЫХ РАЙОНАХ
ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Монография



Благовещенск
Издательство АмГУ
2013

УДК 550.83
ББК 26.31
Ю91

*Рекомендовано
ученым советом АмГУ и общим собранием
членов Амурского отделения Российского минералогического
общества*

Рецензенты:

*Н.С. Остапенко, д-р геол.-минер.наук, старший науч. сотр.,
зав. лабораторией рудогенеза ИГиП ДВО РАН;
С.В. Соколов, д-р геол.-минер.наук, зав. отделом
региональной геохимии ФГУП «ВСЕГЕИ».*

*Ответственный редактор: В.А. Степанов, д-р геол.-минер. наук,
профессор, главный науч. сотр. НИГТЦ ДВО РАН*

Юсупов Д.В.

Ю 91 Применение биогеохимического и минералого-геохимического методов поисков в золотоносных районах Верхнего Приамурья. Монография / Д.В. Юсупов. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 136 с.

Монография посвящена изучению вторичных биогеохимических и литохимических ореолов рассеяния в ландшафтных условиях золотоносных районов Верхнего Приамурья. Рассмотрена информативность различных видов высших растений при биогеохимическом методе поисков и гранулометрических классов фракций рыхлых отложений при минералого-геохимическом методе поисков. Показана результативность применения биогеохимического метода как для поисков золотосеребряного оруденения, так и для эколого-геохимической оценки загрязнения окружающей среды, в пределах Приамурской золотоносной провинции. Книга представляет интерес для геологов, геохимиков, занимающихся поисками золоторудных и других месторождений, а также для преподавателей и студентов геологических и географических специальностей вузов.

ББК 26.31

Издано при финансовой поддержке гранта Амурского государственного университета.

ISBN 978-5-93493-194-1

© Юсупов Д.В., 2013
© Амурский государственный университет, 2013
© Амурское отделение РМО, 2013

Памяти В.И. Вернадского – к 150-летию со дня рождения великого естествоиспытателя и основателя биогеохимии

ВВЕДЕНИЕ

Биогеохимия – наука о биогенной миграции химических элементов. Теоретические основы биогеохимии как геологической науки, изучающей миграцию химических элементов под влиянием живого вещества (организмы и продукты их метаболизма), были заложены в первой половине прошлого века В.И. Вернадским (1940). Любая наука является динамичным образованием и проходит несколько стадий развития. В биогеохимии действовало общее правило: дифференциация на начальной стадии развития, интеграция – на последующих. Биогеохимия развивалась в двух направлениях: одно из них – разработка теоретических основ биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых; другое – учение о биогеохимических провинциях (биогеохимия окружающей среды). В центре внимания последнего направления стоит химический элемент и его влияние на живой организм – флору, фауну, человека.

По инициативе В.И. Вернадского в середине 30-х гг. XX в. была начата работа по созданию биогеохимического метода поисков рудных месторождений полезных ископаемых. Теоретические основы биогеохимического метода изложены в трудах А.Е. Ферсмана (1939), А.П. Виноградова (1954), Д.П. Малюги (1963), А.Л. Ковалевского (1975, 1984, 1991). Наибольший вклад в развитие научных основ и практических приемов биогеохимических методов поисков различных типов рудных месторождений внесли Д.П. Малюга (1963), Р.М. Талипов (1966) – на примере полиметаллических и медных месторождений Средней Азии; А.Л. Ковалевский – на примере золоторудных (1974), полиметаллических (1976), бериллиевых (1979), вольфрамовых (1982), ртутных (1983), платиносодержащих (1993), сереброрудных (2002), урановых (2010) месторождений Восточной Сибири;

П.В.Ивашов (1990) – на примере оловорудных месторождений Дальнего Востока. Бóльшая часть результатов этих научно-практических и опытно-методических работ включена в «Инструкцию по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1983).

Состояние и развитие биогеохимических поисков, а также опыт работ по отдельным вопросам их применения отражены в работах отечественных ученых: В.А. Загоскина (2003), Л.И. Грабовской (1963), А.М. Григорьева (1962), П.В. Ивашова (1976, 1987, 1990, 1991, 2000), А.Л. Ковалевского (1985, 1989, 1992, 1998, 1999, 2002), В.В. Поликарпочкина (1964), Т.Т. Тайсаева (1986), Л.В. Таусона и др. (1980), С.М. Ткалича (1959), а также зарубежных исследователей: R.R. Brooks (1972), С.Е. Dunn (1980), Н. V. Warren (1972) и др.

Подходы биогеохимии оказались близки к целям биологических наук, особенно микробиологии и экологии. Е.Д. Коробушкиной (1986, 2001), В.Г. Моисеенко и С.А. Маракушевым (1987), С.А. Маракушевым (1991), Н.Г. Куимовой (2002, 2004, 2012) изучено взаимодействие микроорганизмов, выделенных на рудных и россыпных месторождениях золота Восточной Сибири, Верхнего Приамурья, Камчатки, с самородным золотом, показана возможность биогенной кристаллизации золота и его переотложения в новые биогенные минеральные формы.

Идеи В.И. Вернадского нашли применение в учении о биогеохимических провинциях – втором направлении биогеохимии, которое конкретизировал А.П. Виноградов (1963). Дальнейшее развитие этого направления связано с работами В.В. Ковальского (1974, 1978, 1981) и В.В. Ермакова (1995). Под руководством В.В. Ковальского (1994) биогеохимической лабораторией Института геохимии и аналитической химии им В.И. Вернадского (ГЕОХИ АН СССР) было проведено биогеохимическое районирование и биогеохимическое картирование всей территории России, а также сопредельных государств, выделены биогеохимические зоны, зональные и аональные провинции.

Общетеоретическая биогеохимия окружающей среды, включающая изучение биогеохимических циклов отдельных химических элементов, представлена в монографиях В.В. Доброволь-

ского (1983, 2003, 2009), А.А. Саукова (1946, 1972), Ю.Е. Саета и др. (1990). Принципы биогеохимии способствовали разработке и развитию учения о геохимии ландшафта (Полынов, 1956; Перельман, 1975, 1979, 1989, 1999).

В связи с усилившейся техногенной нагрузкой на окружающую среду в последние десятилетия прошлого века и на современном этапе происходит экологизация геологических наук. Оформилось новое направление развития биогеохимии – биогеохимия техногенеза. Достижения специалистов различных научных школ определили становление новых научных дисциплин – геохимической экологии (Ковальский, 1974; Петрунина, 1974, 1999), экологической геохимии (Алексеев, 2000; Янин, 1993), а также прикладных направлений – биогеохимической экспертизы окружающей среды и концепции биогеохимического мониторинга (Ивашов, 1992, 1993, 1998). В настоящее время разграничение биогеохимических, эколого-геохимических, почвенно-геохимических, ландшафтно-геохимических исследований считается условным.

Велико также значение изучения склоновых процессов на закрытых территориях для поисков рудных месторождений. Выявление закономерностей дифференциации минералов в рыхлых образованиях склонов диктуется в настоящее время их практической значимостью, особенно в пределах Дальнего Востока, где проводится большой объем геолого-разведочных работ.

При прогнозировании крупного масштаба, детальных поисковых и оценочных работах с использованием прямых индикаторов оруденения и косвенных минералогических критериев выявляются ореолы рассеяния рудных и сопутствующих им минералов (Гинзбург и др., 1981).

Методике изучения механических (шлиховых) ореолов рассеяния, под которыми понимают участки распространения в рыхлых отложениях повышенных содержаний полезных минералов или их индикаторных спутников, посвящено учебное пособие Е.М. Захаровой (1989).

Специфический десорбционный тип отложений, формирующийся в результате периодических колебаний объема рыхлого материала вследствие замерзания и таяния сезонной мерзлоты,

описан В.А. Загоскиным (2003). Автором приводится пример, когда литохимические ореолы в мелкоземе являются закрытыми, в то время как ореолы в относительно крупных фракциях выходят на дневную поверхность и могут быть обнаружены при поисках.

В работе З.Г. Мирзехановой (1988) дана оценка влияния формационной принадлежности коренных источников на характер и скорость перехода тяжелых минералов в свободное состояние в рыхлых образованиях участков междуречий. Выявлены особенности перераспределения рудосодержащих обломков и тяжелых минералов в рыхлом чехле склонов. Объектом исследований этого автора стали склоны Юдомо-Майского нагорья в пределах золотоносной зоны Верхоянской металлогенической провинции.

Установлена зональность для зоны окисления сплошных колчеданно-полиметаллических руд Озерного месторождения в Западном Забайкалье (Малаев и др., 1967). Над первичными рудами выделяется подзона пиритовой «сыпучки», в которой, наряду с пиритом, развиты вторичные сульфиды – борнит, халькозин, ковеллин. Содержание свинца и цинка в этой подзоне соответственно в 2,4 и 1,5 раза выше, чем в первичных сульфидных рудах.

Для закрытых и полужакрытых территорий, характеризующихся большой мощностью перекрывающих оруденение рыхлых отложений различного генезиса, С.В. Соколовым с соавторами (2005) разработан метод анализа сверхтонкой фракции рыхлых отложений (МАСФ). Сущность МАСФ заключается в выделении из проб рыхлых отложений сверхтонкой (глинистой, микроминеральной) фракции, которая затем анализируется количественными методами. Данный метод апробирован в условиях Северной Карелии и Верхнего Приамурья при поисковых работах на цветные и благородные металлы (Соколов и др., 2003; Соколов и др., 2012ф).

Недра Верхнего Приамурья чрезвычайно перспективны на обнаружение новых рудных месторождений золота, платиноидов, меди, никеля и других металлических полезных ископаемых (Моисеенко и др., 1996; Неронский, 1998; Моисеенко и др., 2004; Степанов и др., 2008, 2010; Степанов, 2011). Выявление их

сдерживается особенностями геологического, ландшафтного строения территории, на большей части перекрытой чехлом элювиально-делювиальных и аллювиальных отложений. Ведущая роль здесь принадлежит геохимическим и минералого-геохимическим методам поисков: литохимическому, гидрохимическому, шлиховому, атмосферическому, биогеохимическому. Задача выбора и обоснования наиболее эффективного поискового метода, его модификации на территориях с разной степенью закрытости – ключевая для успеха поисков.

Многими специалистами убедительно показаны перспективы и преимущества биогеохимического метода поисков золоторудных и других месторождений на слабо обнаженных территориях по сравнению со стандартным литохимическим, однако в производственной практике последний значительно доминирует, поскольку ограничены данные о поисковой информативности (прежде всего на золото) растений, широко распространенных в разных регионах, что осложняет выработку универсальных биогеохимических методик. В этой связи результаты биогеохимических и минералого-геохимических исследований, представленные в данной работе, актуальны, поскольку напрямую затрагивают указанные проблемы.

Основной целью исследования являлось обоснование эффективных способов проведения геохимических поисков рудных месторождений благородных и цветных металлов на открытых, полужакрытых и закрытых территориях Верхнего Приамурья.

В процессе исследования автором решались следующие задачи:

1. Обоснование эффективности применения биогеохимического метода для поисков благороднометалльного оруденения в пределах полужакрытых и закрытых природных территорий, выбор оптимально информативных растений – биогеохимических индикаторов.

2. Обоснование эффективности применения биогеохимического метода в эколого-геохимической оценке техногенных геохимических аномалий благородных металлов и ртути на территориях традиционной золотодобычи, установление параметров биогенного поглощения благородных металлов и ртути.

3. Изучение минерального и геохимического состава рыхлых отложений. Выбор оптимально информативных фракций крупности рыхлых отложений для их использования при литохимических поисках золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения на открытых территориях.

Работа основана на данных 10-летних личных исследований применения биогеохимического метода поиска в золотоносных районах Верхнего Приамурья в процессе научно-исследовательских и геолого-поисковых работ.

Исследования проводились автором в Амурском комплексном научно-исследовательском институте ДВО РАН (г. Благовещенск) по темам НИР: «Биогеохимические методы поисков месторождений благородных металлов Приамурья», «Выявление и утилизация очагов ртутного загрязнения в районах золотодобычи Приамурья», «Минерагения платиноидов Дальнего Востока».

Работы осуществлялись также по Государственному контракту № 02-13-191 на производство геолого-разведочных работ «Поиски платинового и медно-никелевого оруденения в бассейнах рек Джалта и Ульдегит» по объекту «Моготский» масштаба 1:50000 и 1:10000 в Зейском районе Амурской области (Стриха и др., 2007ф). Исследование рудных минералов в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях совместно с В.А. Степановым привело к изобретению варианта поисков (Литохимический способ поисков: пат. 2247413, Рос. Федерация, № 2003122376/28; заявл. 17.07.03; опубл. 27.02.05. Бюл. № 6. – 3 с.).

Окончательная доработка полученного фактического материала и написание монографии проводились автором в Научно-исследовательском геотехнологическом центре ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) и Амурском государственном университете (г. Благовещенск).

Автор глубоко признателен своему учителю – Заслуженному деятелю науки РФ, д-ру геол.-минер. наук, профессору В.А. Степанову, на протяжении многих лет способствовавшему формированию научного мировоззрения автора, а также за постоянную всестороннюю помощь при подготовке работы. Искренняя благодарность академику РАН В.Г. Моисеенко за поддержку и проявленный интерес к работе.

Содействие и помощь в проведении полевых исследований были оказаны канд. геол.-минер. наук А.В. Мельниковым, канд. геол.-минер. наук Г.В. Ботряковым, канд. геол.-минер. наук М.Ю. Ровнушкиным, С.И. Бородавкиным; камеральных работ – канд. геол.-минер. наук Н.В. Моисеенко, канд. биол. наук Н.Г. Куимовой; в проведении аналитических работ – канд. хим. наук В.И. Радомской, канд. геол.-минер. наук С.М. Радомским, канд. геол.-минер. наук Л.И. Рогулиной, Н.С. Санилевич, Л.И. Козак, Н.С. Ворошиловой, С.Н. Некрасовой, Н.Г. Козловой, Н.А. Бородиной.

Советы и критические замечания, которые способствовали улучшению работы, получены от д-ра геол.-минер. наук С.В. Соколова, д-ра геол.-минер. наук В.Д. Мельникова, д-ра геол.-минер. наук Н.С. Остапенко, д-ра геол.-минер. наук В.Е. Стрихи, д-ра геол.-минер. наук Н.А. Озеровой, д-ра геол.-минер. наук В.И. Гвоздева, д-ра геол.-минер. наук С.И. Арбузова, д-ра геол.-минер. наук Г.И. Неронского, д-ра геол.-минер. наук Г.С. Мирзеханова, д-ра геол.-минер. наук П.В. Ивашова, д-ра геол.-минер. наук Т.В. Кезиной, канд. геол.-минер. наук Д.Л. Вьюнова, канд. геол.-минер. наук Ю.Г. Пискунова, канд. геол.-минер. наук Б.И. Шестакова, канд. геол.-минер. наук А.А. Савичева, канд. геол.-минер. наук А.Ф. Миронюка, канд. геол.-минер. наук А.С. Ваха.

Особую благодарность автор выражает директору ОАО «Прииск Соловьевский» В.Ф. Сидорову, заместителю генерального директора по геологии ЗАО «УК Петропавловск» Н.Г. Власову и главному инженеру ЗАО «УК Петропавловск» В.Н. Алексееву за предоставленную возможность провести полевые работы и отобрать образцы для исследований.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛОГО- ГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

В главе приведен краткий обзор региональных работ по минералого-геохимическим, биогеохимическим и эколого-геохимическим исследованиям, проводившимся на территории Верхнего Приамурья.

Минералого-геохимические исследования. При проведении литохимических съемок по потокам рассеяния и многочисленных поисковых работ в пределах Верхнего Приамурья накоплен значительный фактический материал о распределении содержаний химических элементов в рыхлых отложениях, потоках рассеяния и в шлиховых ореолах; на обширных территориях выделено большое количество геохимических аномалий.

С 1977 г. проводилась литохимическая съемка по потокам рассеяния масштаба 1:200000 «Опытно-методической экспедицией» (ОМЭ) ПГО «Центргеофизика» (г. Александров) под руководством В.В. Домчака. Этой экспедицией была исследована территория в 27 полных листов масштаба 1:200000 (Домчак и др., 1996ф). К настоящему времени в совокупности с работами других организаций геохимическими поисками по потокам рассеяния масштаба 1:1000000 охвачена практически вся площадь Верхнего Приамурья, а примерно 90% ее территории – съемкой масштаба 1:200000.

Интерпретацию полученных геохимических данных, формационную оценку прогнозируемых источников аномальных потоков рассеяния, оценку их металлогенического потенциала выполнили С.В. Соколов (1998) и Д.Л. Вьюнов (2004) в ОАО «Амургеология». Д.Л. Вьюновым защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по теме «Прогнозно-геохимическая оценка металлоносности Верхнего Приамурья» (Вьюнов, 2005). Для всей изученной площади

коллективом геохимической партии под руководством Д.Л. Вьюнова создана электронная геохимическая база данных; проведена оценка параметров нормального и аномального геохимического поля для основных геолого-ландшафтных таксонов Верхнего Приамурья; построены моноэлементные (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Sn, W), полиэлементные (Au × As × Pb × Zn × Cu × Bi × W × Mo × Sb × Ag, Au × Pb × Zn × Cu × Ag) и мономинеральные (самородное золото, киноварь) карты; установлена зональность геохимического поля Верхнего Приамурья; выделено 82 аномальных геохимических поля ранга рудного узла и 17 – ранга рудного района; определены наиболее перспективные аномальные геохимические поля, в пределах которых возможно выявление новых объектов золота и других металлов; проведена прогнозно-геохимическая оценка Верхнего Приамурья; по составу типоморфных элементов в потоках рассеяния прогнозируются проявления и месторождения золото-железистой, золото-мышьяковой, золотосеребряной, золото-серебро-полиметаллической, золото-ртутной, золото-редкометалльной геохимической специализации. Установлено, что в структуре ресурсов Верхнего Приамурья ведущая роль принадлежит золоту с суммой прогнозных ресурсов рудного золота в 6200 т (Вьюнов, 2005).

В работе Г.И. Неронского (2002) на примере конкретных рудных объектов Верхнего Приамурья обоснованы методы использования типоморфных свойств золота из россыпей ближнего сноса для обнаружения и оконтуривания потенциальных золоторудных полей, определения формационного и минералогического типа руд, реконструкции эродированной части и прогнозной оценки оруденения.

Практический опыт по минералогии рыхлых образований склонов изложен в отчете В.А. Кудинова и М.В. Хромцова (Кудинов и др., 1962ф) о результатах поисковых работ на никель на Лучанском массиве в Зейском районе Амурской области. По данным авторов, интерес представляет отбор металлотрических проб не только из суглинисто-супесчаного, но и из щебнистого обломочного материала, с дроблением его в ступках с последующим спектральным анализом. Ореолы никеля, получен-

ные в результате анализа обломочного материала, отличаются большей контрастностью по сравнению с пробами из суглинков.

Биогеохимические исследования. Впервые биогеохимический метод поисков на территории Верхнего Приамурья был применен в 1964-1967 гг. в рамках ландшафтно-геохимических исследований в горной мерзлотно-таежной зоне Верхнеамурского прогиба экспедицией МГУ под научным руководством Н.П. Солнцевой (Солнцева, 1967ф). Для определения эффективности применения спектрозональной наземной съемки поставлены опытно-методические работы на участках «Осенний» вольфрамового рудопоявления и «Тахтамыгда» медно-магнетитового рудопоявления в масштабах 1:25000 и 1:10000. Данный метод основан на определении и сравнении величины спектральной отражательной способности растений в зависимости от интенсивности минерализации почв и пород. Сущность его заключается в спектрировании отдельных вегетативных органов живых растений (листья, тонкие ветки, кора древесных пород, стебли с листьями травянистых растений). Для исследований использовался прибор ЛИС-2 (летний интерференционный спектрометр).

Разновидность биогеохимического метода поисков – бриогеохимический метод, предусматривающий выделение ореолов рассеяния рудных элементов путем отбора проб водных мхов, отжима из них влаги, высушивания и сжигания мха, а затем анализа золы на искомые элементы, – применял на территории Верхнего Приамурья в опытно-методических целях Г.П. Лапаев по запатентованной им методике (Лапаев, 1984).

В.А. Загоскин использовал усовершенствованную модификацию бриогеохимического метода, включающего отбор проб водных мхов, отжим из них воды, помещение воды в емкость с сорбентом хемоволокна «ВИОН», извлечение сорбирующего материала, озоление его в лабораторных условиях, анализ на золото и серебро. Эта методика применена В.А. Загоскиным (Загоскин, 2003) на двух месторождениях россыпного золота на севере Амурской области – на ручье Маристом в Октябрьском узле (рис. 1, № 29) и на глубокозалегающей погребенной россыпи «Ясная поляна» в Джалта-Ульдегитском узле (рис. 1, № 21).

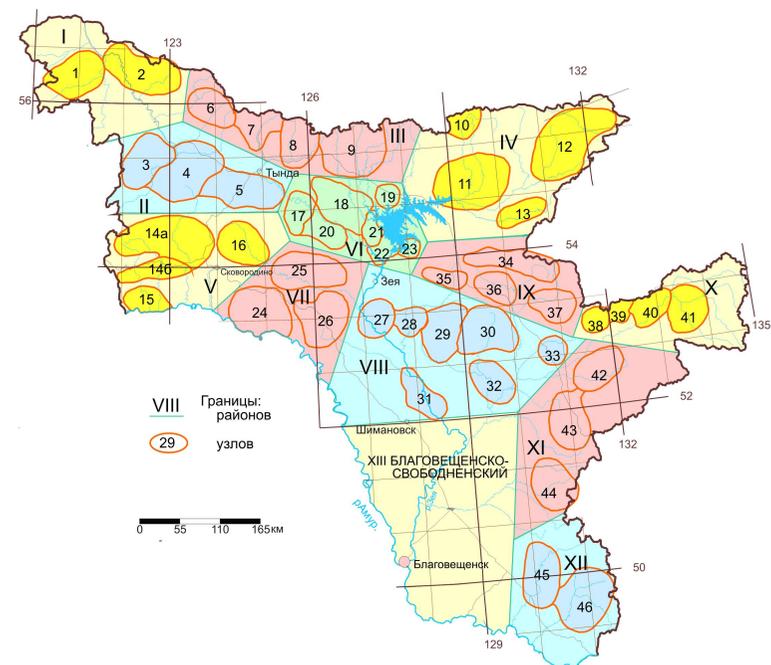


Рис. 1. Схема расположения золотоносных районов и узлов Верхнего Приамурья (Мельников и др., 2006):

Золотоносные районы (с скобках – узлы): I – Нижнеюкжинский (1 – Дырын-Юряхский, 2 – Чильчинский); II – Среднеюкжинский (3 – Эльгаканский, 4 – Уркиминский, 5 – Джелтулакский); III – Верхнегилойский (6 – Апсаканский, 7 – Лапринский, 8 – Малогилойский, 9 – Брянтинский); IV – Верхнезейский (10 – Верхнетокский, 11 – Сугдजारский, 12 – Купури-Майский, 13 – Аргинский); V – Верхнеамурский (14 – Уруша-Ольдойский, 15 – Игнашинский, 16 – Соловьевский); VI – Дамбукинский (17 – Могоктаг-Талгинский, 18 – Иликан-Унахинский, 19 – Коханийский, 20 – Золотогорско-Успенский, 21 – Джалта-Ульдегитский, 22 – Уган-Моготский, 23 – Журбанский); VII – Гонжинский (24 – Осежинский, 25 – Игакский, 26 – Тыгда-Улунгинский); VIII – Зее-Селемжинский (27 – Умлеканский, 28 – Ясенский, 29 – Октябрьский, 30 – Сохатинский, 31 – Чаго-янский, 32 – Нижнеселемджинский, 33 – Бурундинский); IX – Джагдинский (34 – Унья-Бомский, 35 – Верхнедепский, 36 – Туксинский, 37 – Эгорский); X – Верхнеселемджинский (38 – Маломырский, 39 – Верхнестойбинский, 40 – Токур-Сагурский, 41 – Харгинский); XI – Туранский (42 – Быссинский, 43 – Ульмийский, 44 – Алеунский); XII – Малохинганский (45 – Нижнебурейский, 46 – Архаринский); XIII – Благовещенско-Свободненский.

В 2009 г. силами ООО «НПП «Геохимические поиски» (г. Санкт-Петербург) на участке «Ольдойский» площадью 750 км² в пределах Уруша-Ольдойского узла (рис. 1, № 14) проведена инструментальная биогеохимическая съемка с целью поисков золоторудных объектов (Лебедев, 2009ф). Пробы отбирались по трем профилям с шагом опробования 20-40 м. Материал проб составляли осока, мох и брусника. Всего на участке отобрано более 2 тыс. проб, в том числе 1,5 тыс. – по основным профилям и 455 – по детальным. Повторное опробование проведено на 50 пикетах. Пробы анализировали рентгеноспектральным методом (РСА), без озоления на определение концентрации Zn, Cu, As, Br. В результате на участке «Ольдойский» выделено четыре перспективных на золото аномалии, которые предлагалось заверить буровыми скважинами и горными выработками.

Эколого-геохимические исследования. Масштабные исследования по биогеохимическому районированию Верхнего и Среднего Приамурья проведены Биогеохимической лабораторией ГЕОХИ АН СССР под руководством академика В.В. Ковальского. В Амурской области этой лабораторией были осуществлены две научные экспедиции. В результате выделены Амурский субрегион биосферы и ряд биогеохимических провинций, бедных йодом, кобальтом, медью, цинком, богатых марганцем. На территории Зейского района Амурской области выделена биогеохимическая провинция, обогащенная стронцием, при недостаточном содержании кальция. Здесь установлено проявление эндемического заболевания у животных и человека – урсской болезни (Ковальский и др., 1981).

В 1972 г. при областной проектно-производственной станции химизации сельского хозяйства организована Амурская биогеохимическая лаборатория. Этой лабораторией в 1975-1979 гг. проведены три комплексные экспедиции и организованы широкие исследования объектов биогеохимической пищевой цепи в районах горной и равнинной зоны Амурской области, включая районы БАМа (всего более 1,1 тыс. пунктов наблюдения). В почвах, природных водах, растениях, растительных кормах, животных организмах и биосредах организма человека изучалось содер-

жание I, Cu, Co, Mn, Zn, Sr и других химических элементов (Ладан, 1978). Биогеохимическое районирование региона отражено в 35 картах и картограммах.

В 1996-1999 гг. биогеохимический метод впервые включен в перечень производственных работ на территории Верхнего Приамурья для эколого-геохимической оценки загрязнения ртутью окружающей среды в районах золотодобычи. Работы осуществлялись сотрудниками геоэкологической партии ФГУГП «Амургеология» под руководством А.А. Жуковской (Жуковская и др., 1999ф) на опорном участке «Соловьевский» в пределах Соловьевского золотоносного узла (рис. 1, № 16). Проведено биогеохимическое профильное опробование (совместно с атмосферическими наблюдениями и шлиховым опробованием) аномальных зон, включая площадь Кировского золоторудного месторождения, действующих полигонов россыпной золотодобычи. В качестве биообъектов опробования выбраны кора березы бородавчатой и плосколистной, а также травосмесь однолетних злаков. Всего отобрано 153 биогеохимические пробы. В результате биогеохимической съемки выявлены техногенные аномалии Hg, Ba, Sc, Sr, As, Pb, Zn, Sn, Sb, Cd.

К сожалению, в расчетах коэффициентов концентрации для ртути за фоновое содержание исполнители взяли содержание в золе наземных растений, а результаты анализов ртути в пробах растительного материала получили в мг/кг сухой массы. Отношение не приведенных в единую систему мер содержаний дало низкие значения коэффициентов концентраций ртути и, соответственно, низкоконтрастные биогеохимические аномалии Hg, представленные в картографическом материале.

Обзорные данные по содержанию ртути в экосистемах Приамурья представлены в работе А.Т. Коваль с соавторами (Коваль и др., 2002).

С.М. Радомский (2000) и В.И. Радомская с соавторами (2008) изучили распределение благородных металлов в природных объектах Приамурья. Используя аналитические возможности количественного атомно-абсорбционного определения всех элементов этой группы, авторы получили данные о содержании

благородных металлов в растительных и животных объектах сельскохозяйственных и горнодобывающих районов Приамурья.

Таким образом, в нашей работе впервые собраны и проанализированы сведения из опубликованных работ и фондовых материалов по общим и прикладным вопросам поисковой биогеохимии и геохимической экологии одного из крупнейших золотоносных регионов Дальнего Востока России.

Обобщая вышеприведенные материалы можно утверждать, что на территории Верхнего Приамурья накоплен значительный опыт проведения региональных геохимических и эколого-геохимических работ. Однако повышение эффективности и результативности геохимических методов прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых осложнено ландшафтно-геологическими условиями исследуемой территории (развитием автохтонных и аллохтонных образований, многолетней мерзлоты, заболоченных маревых ландшафтов). Наряду с положительными достижениями поисковых и эколого-геохимических работ, следует отметить недостатки, к которым относятся:

- недостаточный объем современных прецизионных аналитических данных;

- незначительный объем опытно-методических работ, особенно на закрытых и полужакрытых территориях;

- недостаточно корректная обработка и интерпретация получаемой геохимической информации;

- недостаточное обеспечение геохимических работ нормативно-методическими документами, учитывающими результаты современных методических и технологических разработок применительно к районам со сложной ландшафтно-геологической обстановкой;

- ограниченными темпами ведутся работы по разработке новых методов геохимического изучения территорий со сложными ландшафтно-геологическими условиями, прежде всего в направлении интерпретации формационного типа прогнозируемых месторождений.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

В этой главе рассмотрены вопросы методики биогеохимических поисков золоторудных и других объектов применительно к геологическим и ландшафтным условиям Верхнего Приамурья. Описан новый способ литохимических поисков по открытым минералого-геохимическим ореолам. При изложении методических аспектов работы использованы многолетний практический опыт автора, а также материалы А.Л. Ковалевского (1984, 2010), С.В. Соколова с соавторами (2012ф) и других исследователей.

2.1. Методика биогеохимических поисков

2.1.1. Выбор площадей

Биогеохимические поиски методически более сложны и экономически затратны по сравнению с традиционной литохимической съемкой по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Поэтому их применение целесообразно только на площадях с определенными геологическими и ландшафтными условиями. Такими являются полужакрытые и закрытые районы.

Полужакрытые районы – слаборасчлененные низкогорья (с развитием лесов, редколесий и марей) с элювиально-делювиальными и аллювиально-делювиальными образованиями (рис. 2). Механические литогеохимические ореолы и потоки рассеяния относятся к смешанному типу (сочетание открытых и погребенных остаточных ореолов), формируются наложенные вторичные ореолы рассеяния. Мощность четвертичных отложений достигает 5 м и более.

Закрытые районы – это аккумулятивные равнины в пределах блоков, испытавших преимущественные опускания, а также денудационно-аккумулятивные равнины в пределах блоков стабилизации (преимущественно долины водотоков, прилегающие болота и заболоченные редколесья) (рис. 3). В обоих случаях четвертичные отложения имеют повышенную мощность. Они экранируют ореолы рудных элементов.



Рис. 2. Полузакрытые территории (участок «Алкаган»).



Рис. 3. Защищенные территории (участок «Алкаган»).



Рис. 4. Схема ландшафтного районирования участков «Алкаган» и «Закрытый» (Соколов и др., 2012ф).

Механические и остаточные литохимические ореолы рассеяния относятся к погребенному типу. В определенных условиях над ними формируются наложенные сорбционно-солевые литохимические ореолы.

Таким образом, для оконтуривания площадей, где целесообразно применение биогеохимического метода, кроме геологических карт, необходимо составление специальных карто-схем ландшафтно-геохимического районирования территории по условиям ведения поисковых работ (рис. 4).

2.1.2. Отбор проб растений

Биогеохимические поиски могут проводиться в различных масштабах – от 1:200000 до 1:1000 по рекомендуемой сети (Инструкция., 1983).

Целесообразно отбирать пробы растений на пикетах выбранной сети. Допускаемые отклонения не должны превышать 20-30% расстояния между пробами на профиле и между профилями. Например, при поисках масштаба 1: 10000 отклонение точек в сторону от профиля может достигать ± 30 м, между точками отбора проб по профилю при шаге 20 м – ± 6 м. Пробы на пикетах обычно отбираются способом «конверта» (в пяти точках) для увеличения представительности опробуемого материала.

Выбор биообъектов для опробования диктуется видовым составом древесного яруса и подлеска. Наиболее благоприятны при биогеохимических поисках рудных месторождений многолетние растения с глубоко проникающими корневыми системами. У древесных растений опробуются внешние слои коры в нижней части стволов на уровне 0,5-1,5 м от земли. Для отбора проб используется легкий топорик. При стесывании коры следует избегать попадания в пробу расположенного под корой луба (флоэмы и камбия), так как живые ткани дерева малоинформативны по отношению к большинству элементов-индикаторов. При опробовании коры стволов деревьев статистически достоверной зависимости содержаний элементов-индикаторов от ориентировки относительно сторон света, возраста и времени отбора проб в течение года или нескольких лет не наблюдается (Ковалевский, 2010). Однако установлено существенное влияние глубо-

ких трещин у корки сосны и лиственницы или черных пятен у бересты березы. Такие неоднородности исключаются с помощью максимальной стандартизации опробуемого материала.

У кустарниковых растений опробуются наземные части – побеги одного возраста вместе с листьями, на высоте более 5-10 см от поверхности земли. Недопустимо смешение в пробе ветоши и зеленых частей растений, так как содержание микроэлементов в последних может быть на порядок меньше, чем в ветоши (см. главу 3). Наиболее благоприятны для опробования кустарниковых и травянистых растений осенний период (после окончания вегетации) и весенний период при отборе ветоши прошлогодних растений. Весенний и летний (первая половина) периоды наименее благоприятны для опробования зеленых частей травянистых растений.

В горно-таежных областях Верхнего Приамурья в пределах элювиальных, трансэлювиальных, элювиально-аккумулятивных элементарных геохимических ландшафтов (водоразделы, склоны) биообъектами опробования служат кора сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*), лиственницы даурской (*Larix daurica*), березы плосколистной (*Betula platyphilla*), а также ветви с листьями и сухой веткой рододендрона даурского (*Rhododendron daurica*) (Юсупов, 2009).

В пределах суперэлювиальных геохимических ландшафтов (речные долины, мари) объектами биогеохимического опробования являются (рис. 5): ива черниковидная (*Salix myrtilloides*), ива коротконожковая (*Salix brachypoda*) и береза кустарниковая (*Betula exilis*) (Юсупов, 2010). Эти виды относятся, по данным А.Л. Ковалевского (2002), к безбарьерным, количественно-информативным на Au, Ag, Hg и другие элементы-индикаторы и могут использоваться совместно без введения поправок на вид растения.

Вес биогеохимической пробы определяется количеством материала для анализов. Для атомно-абсорбционного анализа на золото и серебро необходима навеска золы растений, равная 5 г. Для атомно-эмиссионного (ИСП-АЭС) и масс-спектрального (ИСП-МС) с индуктивно-связанной плазмой анализов навеска золы составляет 1 г (минимальная – 100 мг). Зольность коры лиственницы варьирует в пределах 1,6-3,2%, коры березы – 0,6%, сухих веток рододендрона – 1,5%.



1



2



3



4

Рис. 5. Безбарьерные виды кустарниковых растений горно-таежных областей Верхнего Приамурья: 1 – ива черниковидная (*Salix myrtilloides*); 2 – ива коротконожковая (*Salix brachypoda*); 3 – береза кустарниковая (*Betula exilis*); 4 – рододендрон даурский (*Rhododendron daurica*).

Зольность других кустарниковых растений (ивы черниковидной, ивы коротконожковой и березы кустарниковой) составляет 3,5-5%.

Практически для получения 1-2 г золы необходимо отбирать 200-350 г сырого материала с влажностью 10-30%.

Отбор проб растений документируют в полевой книжке, в которой указывают геоморфологическое положение точки, отбираемый вид и часть растения, его примерный возраст (диаметр ствола для древесных и фенофаза при отборе зеленых частей растений).

С целью определения видового названия используются специальные руководства – определители растений (Воробьев и др., 1966; Ворошилов, 1992). В полевом дневнике записывают сокращенное название растения или буквенные индексы. При составлении отчета или публикации название видов растений приводят в русской и латинской транскрипции.

Обязательно контрольное опробование растений в объеме 3-5% от общего количества отбираемых проб (Инструкция..., 1983).

Отобранные пробы растений следует в короткие сроки высушить до воздушно-сухого состояния. При температуре 40-50°C пробы высушают за 2-3 суток. После этого их измельчают до 1-2 мм и пакетируют в специальные полиэтиленовые пакеты (грипперы). Вместе с пробой в пакет помещается этикетка с указанием номера пробы (пикета), на пакет наклеивался ярлык с тем же номером. Последняя операция позволяет удобно сортировать пробы по номерам, контролировать количество отобранных проб, формировать партии для анализа и т. д. Для различия проб основного и контрольного опробования пакеты с пробами рекомендуется отмечать этикетками разного цвета.

2.1.3. Подготовка проб растений к анализу

Подготовка биогеохимических проб к анализам сводится в основном к их озолению. Озоление проб растительного материала обеспечивает получение их концентратов, в которых содержание элементов-индикаторов увеличивается по сравнению с высушенными пробами от 5 до 500 раз. Современные количе-

ственные методы анализов позволяют с достаточной чувствительностью определить в золе большинство элементов-индикаторов.

Озоление проб растений – трудоемкий процесс. Его можно выполнить любым стандартизированным способом: с использованием электрических печей (муфель) либо в полевых условиях в передвижных специальных печах (Ковалевский, 2010, с. 239). Для массового озоления биогеохимических проб необходимо оборудовать стационарное помещение с несколькими печами и вытяжным оборудованием. Целесообразно проводить озоление в кварцевых, корундовых, стеклоуглеродных или керамических тиглях, которые не дают окислы.

Температурный режим озоления способом сухой минерализации регулируется в соответствии с требованиями ГОСТ 26929-94. Тигель с сухой пробой помещают в электропечь, отрегулированную на температуру около 250°C, и проводят ее обугливание до прекращения выделения дыма. После окончания обугливания температуру постепенно (на 50°C через каждые 30 мин.) повышают до 450°C. Допускается минерализация биогеохимической пробы при температуре до 500°C. При более высоких температурах значительная часть элементов-индикаторов теряется (Au, Zn, Pb, As и др.).

Время озоления пробы растительного материала составляет приблизительно 3-4 часа. Быстро озоляются листья, побеги, тонкие ветки, наземные части травянистых растений; медленно – кора стволов деревьев и толстые ветки. Для сокращения времени озоления проб коры деревьев потребуется измельчить ее до 3 мм, а также 1-3 раза перемешать во время озоления. При полной минерализации пробы зола приобретает белый, кремовый либо иной светлый оттенок, без обугленных частиц. Полученную золу растирают вручную и направляют на анализ.

2.1.4. Анализ биогеохимических проб

Перечень элементов, определяемых в биогеохимических пробах, в основном тот же, что и для литохимических проб. Однако он должен быть уточнен с учетом накопления эле-

ментов-индикаторов растениями и особенностями подготовки проб к анализам. Для поисков золотого оруденения целесообразно количественное определение 22 элементов: Au, Pt, Pd, Ag, As, Bi, Sb, Mo, Sn, W, U, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Ti, V, Mn, Cr, Ba, Hg.

Для анализа элементного состава биогеохимических проб применяются атомно-абсорбционный, ИСП-МС, ИСП-АЭС и другие методы.

Количественное определение содержания благородных металлов в золе растений, представленных в работе, производили атомно-абсорбционным методом.

Для определения платиноидов образцы подвергали предварительной пробирной плавке и концентрированию на никелевый штейн при 1000°C, с последующим разрушением и отделением никелевой основы штейна соляной кислотой, экстракцией платины и палладия смесью ди-2-этилгексилдитиофосфорной кислоты и алкиланилина в толуоле.

Определение осмия и рутения проводили кинетическим методом из растворов, полученных после сплавления нерастворимого остатка никелевого штейна (Радомский, 2000).

Ртуть в биогеохимических пробах (сухом веществе) анализировали беспламенным атомно-абсорбционным методом на газо-ртутном анализаторе АГП-01. Значения содержания ртути в сухом веществе пересчитывали на золу.

ИСП-МС и ИСП-АЭС методы позволяют определить количественное содержание широкого спектра элементов (до 70) с низкими пределами обнаружения (на уровне кларковых содержаний) в золе из одной навески образцов весом 1 г.

В опытном порядке могут анализироваться и неозоленные биогеохимические пробы флуоресцентным, рентгеноспектральным, рентгенорадиометрическим и другими методами (Инструкция..., 1983). Предварительно их следует измельчить и брикетировать. Применимы данные методы для определения элементов-индикаторов, содержание которых в растениях достигает порядка 0.01-1% в золе, – например: Zn, Cu, As, Br, Cr, Mn, Fe, Ni, W, Pb, Rd, Sr, Ba, F, Li и др.

2.1.5. Обработка результатов биогеохимических исследований

Обработка результатов биогеохимических исследований предусматривает следующие основные операции (Инструкция., 1983):

1) первичная обработка аналитических данных – учет разнородности биогеохимических проб, геологического и ландшафтного факторов, расчет параметров фоновых и аномальных содержаний элементов, значений других геохимических показателей;

2) выделение моноэлементных и полиэлементных (мультипликативных) биогеохимических аномалий; изображение результатов биогеохимических съемок (в виде графиков, площадных карт и планов);

3) интерпретация и оценка биогеохимических аномалий (разбровка биогеохимических аномалий); заверка перспективных биогеохимических аномалий.

Для исключения влияния разнородности биогеохимических проб необходимо проверить на однородность опробованный растительный материал и в некоторых случаях ввести поправки с помощью специального биогеохимического параметра – относительного содержания элемента-индикатора в различных биообъектах (ОСБО) растений (Ковалевский, 1984). Данный параметр позволяет исключить влияние видового состава растений. Исключение разнородности биообъектов должно выполняться в основном во время отбора биогеохимических проб путем опробования доминантных видов растений с близкими значениями параметра ОСБО, при этом один вид принимается за эталон. Практика биогеохимических поисков рудных месторождений показывает (Юсупов, 2009; Ковалевский, 2010), что поправки на неоднородность проб коры хвойных деревьев – сосны обыкновенной и лиственницы даурской – можно не вводить. Однако при одновременном опробовании коры березы плосколистной и хвойных деревьев поправки на накопление корой березы Zn, Ag и Cu обязательны.

Биогеохимический фон элементов-индикаторов определяют как среднее арифметическое (для нормального распределения) или среднее геометрическое (для логарифмически нормального

распределения) из их отдельных значений в пределах безрудных участков с однородными геологическими и ландшафтными условиями. Для оценки принадлежности выборки к нормальному или логнормальному закону распределения используют две статистические характеристики: асимметрию (А) и эксцесс (Е) распределения (Беус и др., 1975, с. 257-258). Содержание большинства элементов-индикаторов имеет обычно логарифмически нормальное распределение.

При этом минимально-аномальное содержание определяют как $C_{\phi} \cdot \varepsilon$, где C_{ϕ} – фоновое содержание элемента-индикатора в однородных ландшафтно-геохимических условиях; ε – стандартный множитель C_{ϕ} (Инструкция., 1983).

Для характеристики относительного рассеивания содержаний в практике широко используют коэффициент вариации (v), который показывает (в %), насколько велико рассеивание по сравнению со средним значением.

Если среднее содержание элементов определяется по ограниченному числу проб, возникает необходимость в установлении точности вычисления среднего содержания. Для оценки точности среднего арифметического определяют его вероятностную ошибку (обычно принято ограничиваться 5% уровнем значимости, что соответствует 95% вероятности):

$$\pm \lambda_{5\%} = \frac{2S}{\sqrt{n}},$$

где S – среднее квадратичное (стандартное) отклонение содержаний; n – число проб в выборке (Беус и др., 1975, с. 253-255).

Дополнительно рассчитываются ряд биогеохимических показателей: кларки концентрации (КК) – отношение содержания элемента в золе растений к его кларковому (средним) содержаниям в золе наземных растений (Алексеев, 2000); коэффициент биологической концентрации (Кс) – отношение среднего содержания элемента в золе растения к его биогеохимическому фону (C_{ϕ}); коэффициент биологического поглощения КБП (Ax_1) – отношение содержания элемента в золе растения к кларку литосферы; растительно-почвенный коэффициент РПК (Ax_2) – отношение содержания элемента в золе растения к его содержа-

нию в почве, на которой оно растет; биогеохимическая активность вида (БХА) – сумма коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов (Авессаломова, 1987).

При графическом изображении результатов биогеохимических съемок готовят комплект материалов, куда входят: геологическая карта, карта (схема) геохимических ландшафтов, карты фактического материала, карты для основных элементов-индикаторов и характерных мультипликативных показателей, другие дополнительные графические материалы. При построении графиков распределения элементов по профилям рекомендуется использовать логарифмический вертикальный масштаб.

Чтобы установить взаимозависимость между содержаниями различных элементов в выборках применяют статистические методы – корреляции и факторного анализа (метода главных компонент). Использование последнего позволяет выделить устойчивые ассоциации элементов, характерные для данной площади.

Расчеты проводят с помощью компьютерных программ «Microsoft Office Excel» и «Statistica». Результаты представляют в виде корреляционных матриц и корреляционных дендрограмм. Последние объединяют в группы элементы, имеющие между собой положительные корреляционные связи, при этом ядро групп образуют пары элементов с максимальными коэффициентами корреляции (Вьюнов, 2005).

Оценка биогеохимических аномалий заключается в их разбраковке на рудные и безрудные, а также выделение среди предположительно рудных аномалий объектов первой и второй очереди.

Количественными параметрами, используемыми для разбраковки биогеохимических аномалий, служат их интенсивность, протяженность и продуктивность (Инструкция..., 1983, с. 134).

Важным параметром для интерпретации биогеохимических аномалий являются также растительно-почвенные коэффициенты в пределах фона ($РПК_{\phi}$) и в пределах биогеохимической аномалии ($РПК_a$). Отношение $РПК_a : РПК_{\phi}$ – объективный критерий для сравнения поисковой эффективности биогеохимического и литохимического методов (Ковалевский, 2010, с. 266).

Таким образом, биогеохимические, геологические, ландшафтно-геохимические и другие материалы изучаемой площади, с учетом их количественных характеристик, обеспечивают однозначную оценку и разбраковку биогеохимических аномалий. В итоге разрабатывают рекомендации на постановку геолого-разведочных работ последующих стадий, а также заверяют перспективные биогеохимические аномалии с указанием конкретных мест заложения поверхностных горных выработок или буровых скважин.

2.2. Методика минералого-геохимических поисков

Запатентованная методика минералого-геохимических (литохимических) поисков, предназначена для выявления месторождений сульфидных руд меди, никеля, кобальта, свинца, цинка, молибдена, висмута, ртути и других, в том числе благородных металлов по аномальному содержанию рудных минералов и их обломков в дресвяно-песчаной фракции рыхлых отложений (Пат. 2247413 Рос. Федерация. – 3 с.). Способ применим для поисков на площадях, перекрытых рыхлыми элювиально-делювиальными отложениями в условиях элювиальных, трансэлювиальных и элювиально-аккумулятивных ландшафтов криолитозоны.

Сущность методики заключается в следующем. На местности по заданной сети из представительного горизонта почвы (30-60 см) отбирают пробы массой 350-400 г. Из высушенного материала путем просеивания на ситах установленного размера выделяют крупную фракцию (+1-3 мм), которая содержит кристаллы и сростки рудных минералов (сульфидную «сыпучку»). Полученная фракция исследуется минералогическим анализом в полевых условиях. Возможно сочетание данной методики с полуколичественным спектральным и количественными (масс-спектрокопии, атомно-абсорбционным и др.) методами оценки содержания элементов в лабораторных условиях (Юсупов, 2004).

Способ применим в комплексе с литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния, при которых опробуется иллювиальный горизонт «В» почвы либо подпочвенный горизонт «С». Схема обработки исходной пробы представлена на рис. 6.

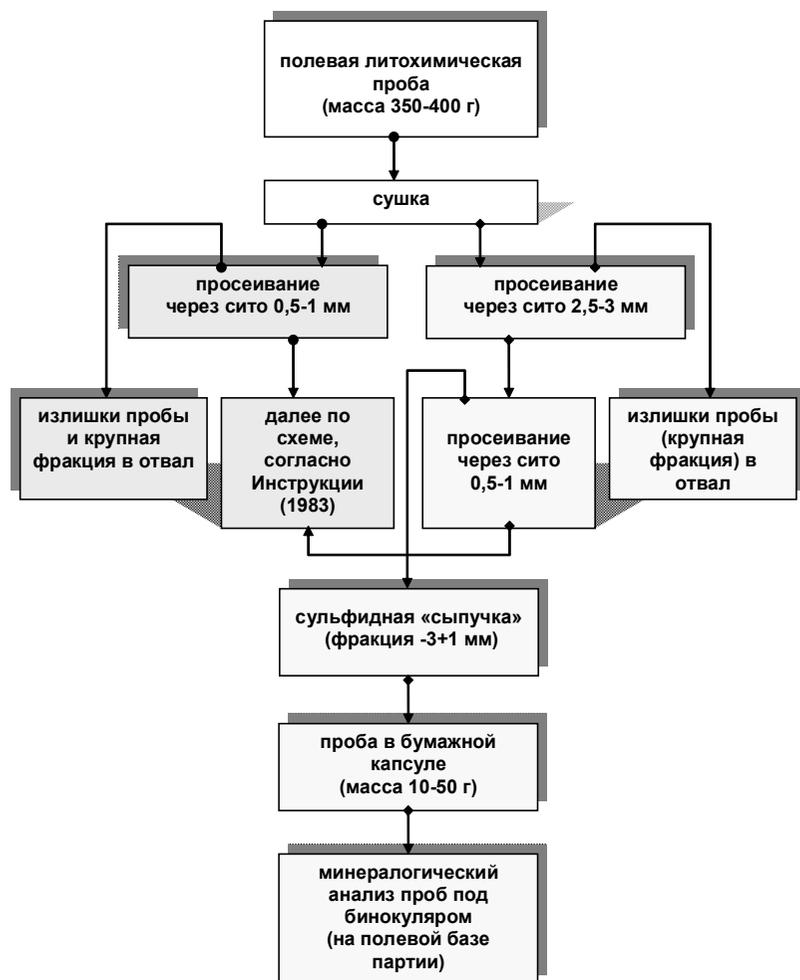


Рис. 6. Блок-схема обработки и анализа литохимической пробы стандартным (левая часть) и новым способом (правая и нижняя часть схемы).

Вначале из исходной пробы материала рыхлых отложений отделяется класс крупности (+1-3 мм), в составе которого определяется содержание рудных минералов. Затем из подрешетного материала (класс <1 мм) формируется литохимическая проба по стандартной методике (Инструкция., 1983). Таким образом, из исходного материала получают две аналитичес-

кие пробы – минералого-геохимическая (класс +1-3 мм) и стандартная литохимическая (класс <1 мм).

Экспериментально установлено, что в условиях деятельного слоя криолитозоны дресвяно-песчаная фракция является тем материалом, в котором наилучшим образом представлены кристаллы и обломки кристаллов рудных, в том числе сульфидных минералов. Представительность класса размерности (+1-3 мм) обусловлена преобладающей размерностью зерен рудных минералов в минерализованных породах и рудах. Далее производится анализ распределения ореолов рудных минералов по площади с разбраковкой их по перспективности и вскрытие рудных тел в коренном залегании.

К достоинствам методики можно отнести экспрессность аналитических работ, так как они проводятся на полевой базе партии. Благодаря этому в течение одного сезона можно не только заверить горными выработками выявленные аномалии, но при необходимости, провести опробование по более густой сети. Кроме того, выявленные в пробах ассоциации рудных минералов позволяют судить о минеральном составе руд в коренном залегании, наличии минералов-примесей, в том числе минералов благородных элементов (золота, платиноидов).

Процесс изучения рудных минералов может быть продолжен в камеральный период с помощью прецизионных методов исследования. Они включают определение состава минералов, температур гомогенизации и декрепитации газово-жидких включений, изотопии серы в сульфидах, изотопии кислорода в окисных рудных минералах и др. Анализ полученных результатов позволяет судить о формационном типе и генезисе оруденения.

Способ был предложен и впервые применен В.А. Степановым и Д.В. Юсуповым в 2002-2005 гг. в ходе литохимических поисков платиносодержащего медно-никелевого оруденения в бассейнах рек Джалта и Ульдегит масштаба 1:50000 и 1:10000 по государственному контракту 02-13-191 (Степанов, Юсупов, 2005). На поисковых участках «Никелевый», «Северный» и «Южный» в пределах Джалта-Ульдегитского узла Дамбукинского рудно-россыпного района отбирались литохимические пробы из почвенного горизонта «В» элювиально-делювиальных отложений.

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РУДНОГО И РОССЫПНОГО ЗОЛОТА (на примере Тыгда-Улунгинского узла)

Биогеохимические опытно-методические исследования проведены на двух эталонных объектах Тыгда-Улунгинского узла: участке «Покровка-IV», находящегося на фланге Покровского золоторудного месторождения, и участке «Алкаган» в долине ручья Малый Алкаган с россыпным золотом. Первый участок расположен в пределах таежного элювиального полузакрытого, второй – супераквального закрытого ландшафтов.

Тыгда-Улунгинский золоторудный узел расположен на юго-западном фланге Приамурской золотоносной провинции (Степанов и др., 2008). Он занимает восточную часть Гонжинского золотоносного района (рис. 1, № 26) и является наиболее крупным по размерам и насыщенности золотоносными объектами. Здесь сосредоточены известные месторождения (Покровское и Пионер) и проявления коренного золота (Желтунак, Дактуй, Апрельское и др.) разнообразных формаций. Коренные источники сопровождаются россыпями или шлиховыми ореолами. В пределах узла развиты современные мелкозалегающие и древние погребенные россыпи (Мельников и др., 2006).

3.1. Покровское золоторудное месторождение

Покровское золоторудное месторождение находится в центральной части Тыгда-Улунгинского узла, в бассейне ручья Сергеевского – правого притока р. Улагач (бассейн р. Тыгды), в 14 км северо-западнее станции Тыгда Забайкальской железной дороги и в 90 км к югу от г. Зеи.

Месторождение было обнаружено В.Д. Мельниковым в 1974 г. при маршрутных исследованиях (Васильев, 2000). Первые рудные тела были вскрыты горными выработками в 1975 г. В 1981-1983 гг. на месторождении была проведена предварительная, а в 1983-1985 гг. – детальная разведка.

Месторождение относится к золотосеребряной формации. Основной тип руд – золото-адуляр-кварцевый убогосульфидный.

По количеству запасов рудного золота месторождение оценивается как среднее (Минерально-сырьевая база., 2000). Месторождение отрабатывается открытым карьерным способом ОАО «Покровский рудник» с 1999 г.

3.1.1. Ландшафтные условия

Территория расположена на Амуро-Зейской возвышенности, между хребтом Тукурингра, реками Амуром и Зеей. Рельеф района месторождения холмисто-увальный, с абсолютными отметками вершин до 350-380 м и относительными превышениями водоразделов над тальвегами 20-60 м. Он характеризуется хорошо выработанными долинами с пологими (до 5°) склонами, переходящими в плоские (шириной до 1 км) водоразделы с чехлом элювиально-делювиальных рыхлых отложений мощностью 1,4-8 м. В бортах, днищах долин и на склонах северной экспозиции располагается островная многолетняя мерзлота. Сезонная мерзлота встречается повсеместно, распространяясь на глубину до 3,5 м. Коренные обнажения на площади месторождения практически полностью отсутствуют.

На площади месторождения развиты преимущественно буротаежные почвы. Они приурочены к плоским водоразделам под березово-лиственничным лесом. Реакция среды слабокислая или близкая к нейтральной. Вниз по почвенному профилю величина рН понижается.

Район Покровского золоторудного месторождения относится к области бореальной растительности. По геоботаническому районированию территория принадлежит к Восточно-Сибирской таежной подобласти светлохвойных лесов, подзоне южной тайги.

Растительность представлена южнотаежными светлохвойными лесами с преобладанием лиственницы Гмелина или даурской (*Larix dahurica*), с широким участием березы плосколистной (*Betula platyphylla*). Изредка встречается сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*). Наиболее распространены смешанные березово-лиственничные леса. В подлеске южнотаежных светлохвойных и смешанных лесов обычны кустарники рододендрона

даурского (*Rhododendron dahurica*), багульника болотного (*Ledum palustre*), таволги средней (*Spiraea media*), шиповника (*Rosa dahurica*).

3.1.2. Геологическое строение и состав руд

Покровское месторождение представляет собой систему суб-параллельных пологозалегающих рудных тел, сформировавшихся среди гранитоидов Сергеевского массива раннемелового возраста и частично – в перекрывающих их вулканитах. Пологозалегающие рудные тела образованы кварцевыми жилами и штокверками. Нижней границей оруденения является кровля силла дацитов или пологий тектонический межформационный срыв между вулканогенными породами и гранитоидами. Рудные тела не имеют четких геологических границ и выделяются по данным опробования. Выделено шесть рудных тел: Главное, Зейское, Новое, Озерное, Молодежное и Восточное (рис. 7). Первые три локализованы в гранитоидах, остальные приурочены к контакту между гранитами и перекрывающими их вулканогенными образованиями.

Руды Покровского месторождения представляют собой в разной степени окварцованные и аргиллизированные вулканогенные породы и гранитоиды с весьма неравномерной прожилково-вкрапленной золотосеребряной минерализацией. Основными породообразующими минералами руд являются кварц, адуляр, карбонаты, гидрослюда и каолинит. Количество рудных минералов составляет в среднем 1%. Они представлены пиритом, арсенопиритом, марказитом, сфалеритом, галенитом, антимонитом, гидроокислами железа и самородным золотом. Золото тонкое, низкопробное (626-735‰). Среди элементов примесей, помимо серебра, преобладают железо, сурьма, марганец, хром и медь (Степанов и др., 2008).

В районе Покровского месторождения развиты площадные коры выветривания каолинит-гидрослюдистого, гидрослюдисто-каолинитового и каолинитового профиля (Орлова и др., 1995ф). Мощность площадных кор выветривания колеблется в широких пределах – от первых метров до 50-80 м.

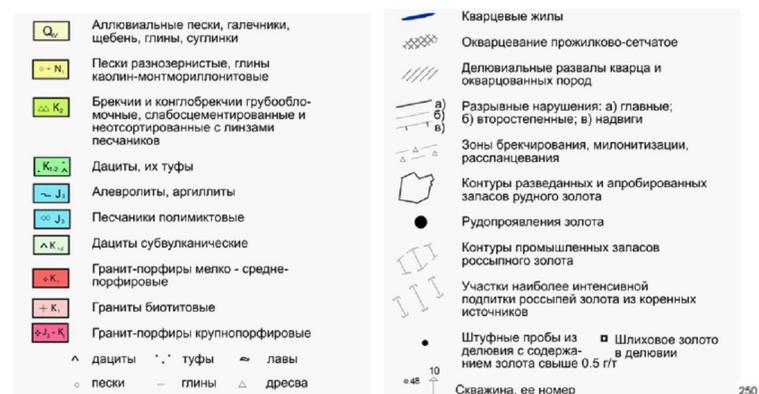
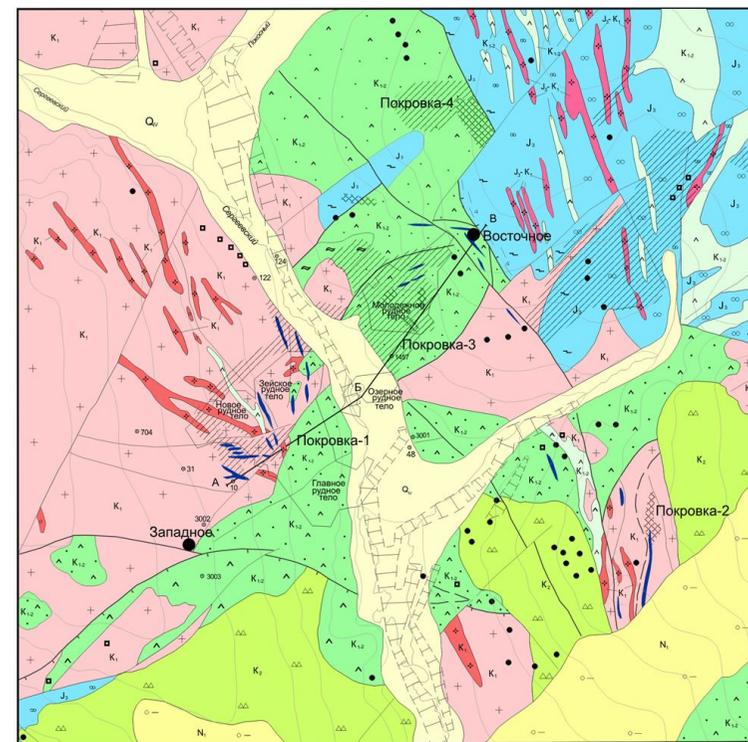


Рис. 7. Схематическая геологическая карта Покровского золоторудного месторождения (Минерально-сырьевая база., 2000).

В верхней части коры выветривания формируется зона окисления, имеющая пеструю окраску за счет воздействия насыщенных кислородом и углекислотой грунтовых вод на неустойчивые в окислительной обстановке сульфиды. При этом сульфиды (пирит, сфалерит, арсенопирит и др.) либо интенсивно корродированы, либо полностью замещаются гематитом и гидроксидами железа. Микроскопическое (до 0,01 мм) золото и самородное серебро установлены в натечных новообразованиях кор выветривания, сложенных преимущественно гидроксидами железа (Рычков, 1981ф). Содержание золота в них достигает 6,2 г/т, серебра – 23,8 г/т.

3.1.3. Геохимическая характеристика месторождения

Площадь месторождения покрыта литохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:10000 и частично 1:25000. Геохимические пробы отобраны по всем глубоким и картировочным скважинам. Выявлен ряд комплексных ореолов золота, серебра, мышьяка, сурьмы и других элементов, которые отражают местоположение известных рудных тел и рудопроявлений золота (Власов и др., 2004ф). Ореолы подразделяются на три группы:

1) площадные слабоконтрастные ореолы олово-серебряной (с медью, мышьяком, свинцом) ассоциации, характеризующиеся низкими значениями коэффициентов концентрации (Кс), варьирующими от 3 до 10. Они образуют широкую (0,4-1 км) и протяженную (5-8 км) полосу, приуроченную к экзо- и эндоконтактовым частям Сергеевского массива гранитоидов;

2) протяженные линейные средне- и слабоконтрастные (Кс меняется от 5 до 35) ореолы олово-вольфрам-висмутовой с серебром ассоциации, фиксирующие широтные и субмеридиональные структуры с дорудной минерализацией;

3) локальные контрастные (Кс от 100 до 1000) ореолы серебра, золота, мышьяка и сурьмы, характерные для рудного этапа золотого оруденения (участки «Покровка-II», «Покровка-IV» и др.).

Известные рудоносные зоны четко выделяются по первичным ореолам золота с содержанием 0,3 г/т и серебра – 1,5 г/т.

По содержаниям золота (1,0 г/т) и серебра (2,5 г/т) выделяются продуктивные части ореолов. Слабо эродированные и не выходящие на поверхность рудоносные зоны сопровождаются ореолами с золото-серебро-мышьяк-сурьмяной (с вольфрамом) и медно-серебряно-полиметаллической ассоциациями. Ниже приведена геохимическая характеристика отдельных элементов.

Серебро тесно сопутствует золоту в соотношении от 1:1 до 1:10. Средние содержания золота в рудных телах составляют 4,4 г/т, серебра – 8,1 г/т.

Мышьяк является одним из спутников золота. Совместно с золотом он образует обширные первичные и вторичные ореолы с содержанием в сотые доли процента. В рудах его содержание редко достигает первых десятых долей процента.

Сурьма совместно с золотом и мышьяком образует вторичные, реже – первичные ореолы. Концентрация сурьмы в ореолах составляет сотые доли процента, в рудах – до первых десятых долей.

Свинец образует небольшие вторичные ореолы рассеяния (тысячные доли процента). В коренных породах содержание свинца варьирует от тысячных долей до сотых долей процента, в единичных пробах – до первых десятых.

Ртуть. Киноварь обнаружена в 105 шлиховых пробах в количестве 1-9 знаков, в пяти – 10-30 знаков, в двух – в весовых количествах (31-100 знаков), в шести пробах из делювия – в виде редких знаков. Наиболее протяженные шлиховые потоки киновари обнаружены по ручьям Сергеевский, Улагач, Улунга и Нижнеборовой. Насчитывается также более 300 керновых проб, в которых приближенно-количественным спектральным анализом установлена ртуть в количестве менее 30 г/т. В единичных пробах содержание ртути достигает 60 г/т. Большинство проб, содержащих ртуть, отобрано из вулканогенных образований нижнего мела и гранитов Сергеевской интрузии. При их размыве киноварь попадала в отложения сазанковской и белогорской свит и четвертичные образования.

По геохимической специализации и уровню эрозионного среза выделены наиболее перспективные участки, к которым от-

несены «Покровка-II» и «Покровка-IV». Опытно-методические биогеохимические работы проведены на участке «Покровка-IV» с золотосеребряным оруденением.

3.1.4. Участок «Покровка-IV»

Участок «Покровка-IV» расположен на левом борту долины ручья Сергеевский и его левого притока ручья Покосный (рис. 7). В 70-е гг. на стадии поисков здесь были выявлены вторичные ореолы золота, сопровождаемые золотосодержащими (до 10 г/т) штуфами окварцованных пород. На участке «Покровка-IV» геологической службой ОАО «Покровский рудник» (Власов и др., 2004ф) в 1999-2001 гг. пройдены канавы, которыми вскрыты зоны окварцевания, заверены комплексные вторичные и первичные ореолы золота и его элементов-спутников. Кроме того, пробурены мелкие поисково-картировочные скважины для заверки комплексных ореолов рассеяния золота и мышьяка по профилям длиной до 2,5 км, с шагом 20-40 м, со сгущением до 5-10 м (рис. 8).

Проведено геохимическое опробование канав и керн скважин с целью изучить первичные ореолы золота и элементов-спутников. Интервалы опробования, из которых отбирались сколки с объединением в одну пробу весом 0,3 кг, составили: 1-4 м – по слабоизмененным породам и 5 м – по визуально неизменным породам, в среднем около 4-4,5 м. Мощность слоя элювиально-делювиальных отложений на участке колеблется от 1,4 до 8 м.

Площадь участка на две трети сложена вулканогенными породами раннего мела, которые перекрывают по надвигу юрские терригенные отложения *аякской свиты*. Терригенные породы прорваны дайками гранит-порфиров позднеюрского – раннемелового возраста. Дайки имеют мощность до 30 м и протяженность до 660 м. Падение их юго-западное, под углом 55°.

Вулканогенные образования относятся к двум фациям: покровной и субвулканической. Покровная фация представлена лавами, брекчиевыми лавами, лавобрекчиями и туфами дацитового состава.

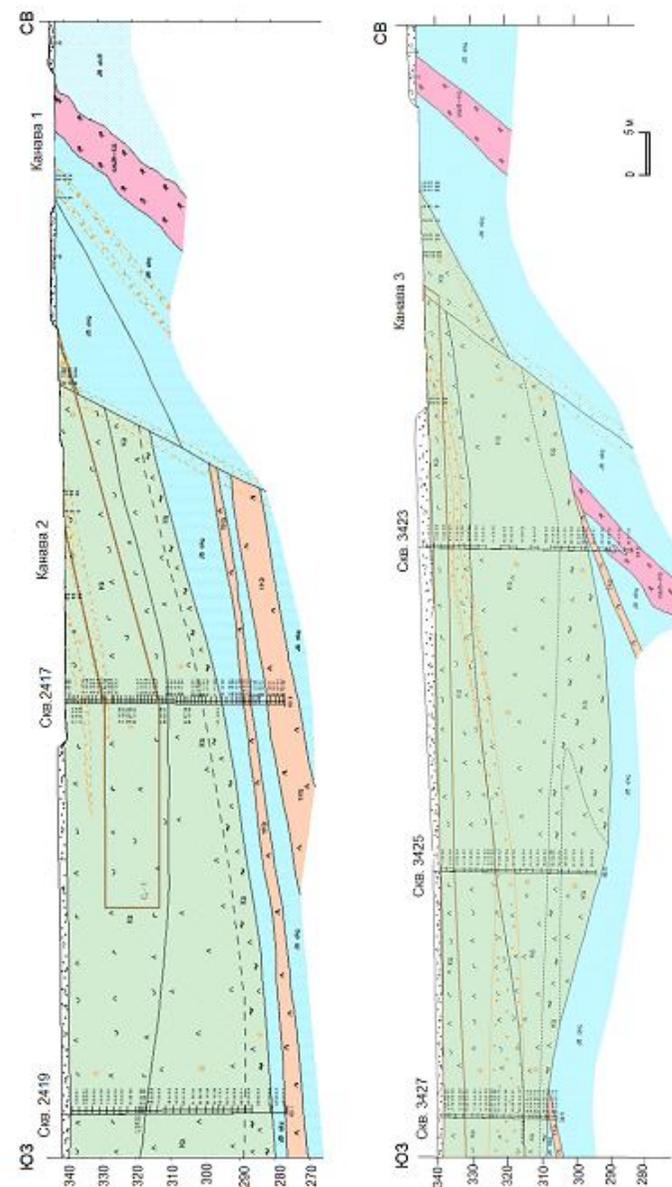


Рис. 8. Геологические разрезы по линиям канав и скважин участка «Покровка-IV» (Власов и др., 2004ф). Условные обозначения приведены на рис. 7.

Субвулканическую фацию слагают отдельные разномасштабные тела близкого к покровным образованиям состава. Вулканогенные породы интенсивно аргиллизированы, окварцованы и пиритизированы, подвергнуты процессам адуляризации и площадного корообразования. Процессы окисления (лимонитизации) проникают до глубины 25-30 м, а по зонам разломов – до 50-60 м.

Тектоническую структуру участка определяет надвиг вулканогенных образований на юрские отложения. В наиболее изученной фронтальной части он образует зону тонкочешуйчатых пологих (5-20°) срывов. При этом юрские алевролиты подвергаются интенсивному рассланцеванию, а дайки гранит-порфиров – динамометаморфизму.

К контакту терригенных и вулканогенных пород приурочены наиболее контрастные комплексные вторичные ореолы рассеяния золота (до 1,0 г/т), серебра (до 10,0 г/т), мышьяка (до 0,03%). Здесь установлены первичные ореолы золота (до 1,0 г/т) и свалы золотоносного жильного кварца (до 7,0 г/т). В бороздовых и керновых пробах содержание золота колеблется в пределах от 0,5 до 4,7 г/т, в среднем составляет менее 1,0 г/т, в 8 пробах – 1,0-1,7 г/т.

Рудные интервалы располагаются в основном в верхней части интенсивно выветренных коренных пород, частично проникая в элювиальный глинисто-обломочный горизонт. Этот уровень соответствует первичным ореолам золота в их верхней части. Рудные интервалы с низким содержанием золота (0,5-0,7 г/т) располагаются как среди алевролитов, так и среди перекрывающих их дацитов (Власов и др., 2004ф).

3.1.5. Результаты биогеохимических исследований

Биогеохимическое опробование произведено нами на рудопроявлении участка «Покровка-IV», вдоль линий канав № 1, 2, 3 и скважин, которыми в коренном залегании пород была вскрыта золотая минерализация. Над рудными интервалами выявлены первичные и вторичные ореолы золота.

Расстояние между точками отбора проб растительности составило 10-15 м. В качестве биообъектов отбирались кора лист-

венницы даурской (*Larix daurica*), кора березы плосколистной (*Betula platyphilla*), ветки с листьями и сухостой рододендрона даурского (*Rhododendron daurica*). Всего было отобрано и проанализировано 126 биогеохимических и 33 литохимические пробы.

Результаты обработки анализов и расчета статистических параметров распределения содержаний элементов в почве и золе растений участка «Покровка-IV» приведены в табл. 1.

Кларки концентрации KK_0 золота (50-170) и ртути (18-38) в биогеохимических пробах превышают соответствующий показатель KK_n литохимических ореолов (1,2 и 0,4 соответственно) в десятки раз. РПК биообъектов составил для Au, Hg, Zn порядок значений (10n), соответствующий группе элементов интенсивного биологического накопления, для Ag (0,n) – слабого накопления и среднего захвата.

Источник формирования биогеохимических аномалий металлов находится в нижних горизонтах рыхлого покрова и коры выветривания коренных горных пород, на глубине 1-7 м. Корневая система растений имеет непосредственный контакт с рудными телами и их элювиальными обломками.

Элементы-индикаторы (Hg, Au, Zn, Cu) накапливаются растениями за счет контактного растворения путем обменных реакций (Малюга, 1963) и процесса эндоцитоза (Саляев и др., 1979) – непосредственного растворения твердых частиц всасывающими корневыми волосками. Таким образом, растения поглощают в растворенной форме с определенной интенсивностью химические элементы, входящие в состав минералов, в том числе и золото.

Золото. Выявлены интенсивные биогеохимические аномалии золота. Они сопряжены с первичными геохимическими ореолами золота и отражают местоположение коренного источника – золотоносных зон с прожилково-сетчатым окварцеванием (рис. 9, а).

Литохимические вторичные ореолы золота в иллювиальном горизонте почвы значительно ослаблены. Уровень содержаний золота в литохимических пробах (0,005-0,18 г/т, $x_{\text{сред}} = 0,07 \pm 0,02$ г/т) на один-два порядка ниже, чем в соответствующих биогеохимических пробах.

Распределение химических элементов в почве и золе растений участка «Покровка-IV»

Элемент	Объект	N	Содержание, г/т			S	Статистические параметры			РПК _к	КК (а, б)
			x _{min}	x _{max}	x _{сред}		A	Э	σ %		
Au	П(Б)	27	0,005	0,18	0,07 ± 0,02	0,04	0,70	0,035	64	-	1,2
	РД	27	0,79	1,85	1,36 ± 0,11	0,30	0,11	-1,75	20	19,4	79,0
	РДс	10	1,71	3,98	2,52 ± 0,39	0,61	1,43	3,66	24	36,0	171,0
	БП	9	0,96	3,27	1,84 ± 0,52	0,78	0,66	-0,30	43	26,3	96,0
Ag	ЛД	15	0,50	4,03	1,69 ± 0,61	1,18	1,22	0,06	70	16,9	50,0
	П(Б)	27	0,25	98,7	1,41 ± 0,2	0,61	1,80	2,97	27	-	14,1
	РД	27	0,25	1,12	0,66 ± 0,12	0,30	0,11	-1,75	46	0,2	4,2
	ЛД	5	0,26	0,52	0,39 ± 0,11	0,12	-0,16	-2,81	30	0,1	4,3
Hg	П(Б)	26	0,018	0,049	0,03 ± 0,003	0,01	0,84	-0,1	30	-	0,4
	РД	27	0,47	300,0	1,52 ± 0,47	0,52	3,48	-1,17	51	50,7	21,7
	РДс	10	0,63	1,88	1,10 ± 0,27	0,42	0,57	-0,55	38	36,7	18,3
	П(Б)	27	26,0	64,0	47,78 ± 2,87	7,45	-0,59	2,09	16	-	3,0
Pb	РД	27	50,0	120,0	82,22 ± 5,59	14,51	-0,13	1,53	18	0,6	8,2
	РДс	11	74,0	120,0	103,82 ± 7,19	11,91	-1,55	3,73	12	2,2	10,4
	П(Б)	26	12,0	26,0	16,77 ± 2,64	6,85	-0,45	0,61	24	-	0,4
	РД	27	56,0	220,0	165,56 ± 12,66	32,89	-1,55	4,38	20	9,9	0,8
Cu	РДс	11	130,0	160,0	142,73 ± 4,74	7,86	0,94	1,65	6	8,5	0,7
	П(Б)	27	10,0	78,0	41,48 ± 6,81	17,69	0,28	-0,26	43	-	0,5
	РД	25	410,0	1200,0	687,67 ± 93,0	177,32	0,95	1,66	26	16,6	0,8
	РДс	11	540,0	1140,0	742,73 ± 105,0	174,07	1,18	1,56	23	17,9	0,8
Cr	П(Б)	27	40,0	84,0	60,74 ± 4,48	11,64	0,24	-0,42	19	-	55,2
	РД	27	30,0	70,0	55,56 ± 2,93	7,61	-1,04	4,06	14	0,9	0,2
	РДс	11	60,0	96,0	79,46 ± 5,42	8,99	-0,49	2,11	11	1,3	0,3
	П(Б)	26	16,0	46,0	33,08 ± 2,89	7,36	-0,13	0,06	22	-	0,6
Ni	РД	27	54,0	110,0	80,96 ± 6,48	16,84	0,26	-0,99	21	2,5	1,6
	РДс	11	66,0	90,0	78,18 ± 5,24	8,69	-0,13	-1,24	11	2,4	1,6
	П(Б)	27	12,0	42,0	28,44 ± 2,64	6,85	-0,45	0,61	24	-	1,6
	РД	27	18,0	48,0	31,04 ± 2,43	6,31	0,12	1,54	20	1,1	2,1
Co	РДс	11	30,0	44,0	38,36 ± 2,40	3,98	-0,77	0,69	10	1,4	2,6

Примечание. Объекты опробования: П(Б) – почва, горизонт «В»; РД – рододендрон даурский (ветки с листьями); РДс – береза плосколистная (кора); ЛД – лиственница даурская (кора); N – количество проб; прочерк – нет расчета даурской (сухостой); БП – береза плосколистная (кора); ЛД – лиственница даурская (кора); N – количество проб; прочерк – нет расчета.

Кора лиственницы даурской (0,50-4,03 г/т, $x_{\text{сред}} = 1,69 \pm 0,61$ г/т, РПК = 17), березы плосколистной (0,96-3,27 г/т, $x_{\text{сред}} = 1,84 \pm 0,52$ г/т, РПК = 26), трех – десятилетние ветки рододендрона даурского являются безбарьерными по отношению к аномальным концентрациям золота в коренных породах, что согласуется с данными других исследователей (Разин, 1966). Установлено различие в уровне концентрации золота в пробах золы сухостоя рододендрона (1,71-3,98 г/т, $x_{\text{сред}} = 2,52 \pm 0,39$ г/т, РПК = 36) и в пробах золы живых веток с листьями рододендрона (0,79-1,85 г/т, $x_{\text{сред}} = 1,36 \pm 0,11$ г/т, РПК = 19), отобранных по одним точкам (рис. 10, а).

Объяснение этого факта заключается в существовании различных форм золота. Золото в живых частях растения, очевидно, находится в водорастворимой ионной форме, и его содержание, помимо равных условий, значительно изменяется в разные сезоны года, периоды вегетации. Золото в сухих ветках растения содержится в минеральной форме. По данным А.Л. Ковалевского и др. (1978), наибольшее количество выделений золота размером менее 1 мкм в древесных и кустарниковых растениях находится в лубе и концах веток диаметром 3-8 мм, где они концентрируются по безбарьерному типу.

Ртуть. Выявлены локальные контрастные биогеохимические аномалии ртути. Пространственно они совпадают с пиками биогеохимической аномалии золота и литохимическими аномалиями золота и ртути в почве (рис. 9, б). Максимальный пик биогеохимической аномалии ртути наблюдается над зоной золоторудной минерализации, на контакте вулканогенных и терригенных пород.

Наибольший уровень концентрации ртути определен в золе живых веток рододендрона ($x_{\text{сред}} = 1,52$ г/т, $x_{\text{max}} = 300,0$ г/т), наименьший ($x_{\text{сред}} = 1,1$ г/т, $x_{\text{max}} = 1,88$ г/т) – в золе сухостоя рододендрона (рис. 10, б). Наибольшие величины РПК для ртути отмечены у живых побегов рододендрона даурского (РПК = 51) и коры лиственницы даурской (РПК = 59). Данный порядок значений РПК возможен при существовании в почве, горных породах и рудах водорастворимой и газообразной форм ртути Hg⁰, которая интенсивно поглощается растениями (Ковалевский, 1983).

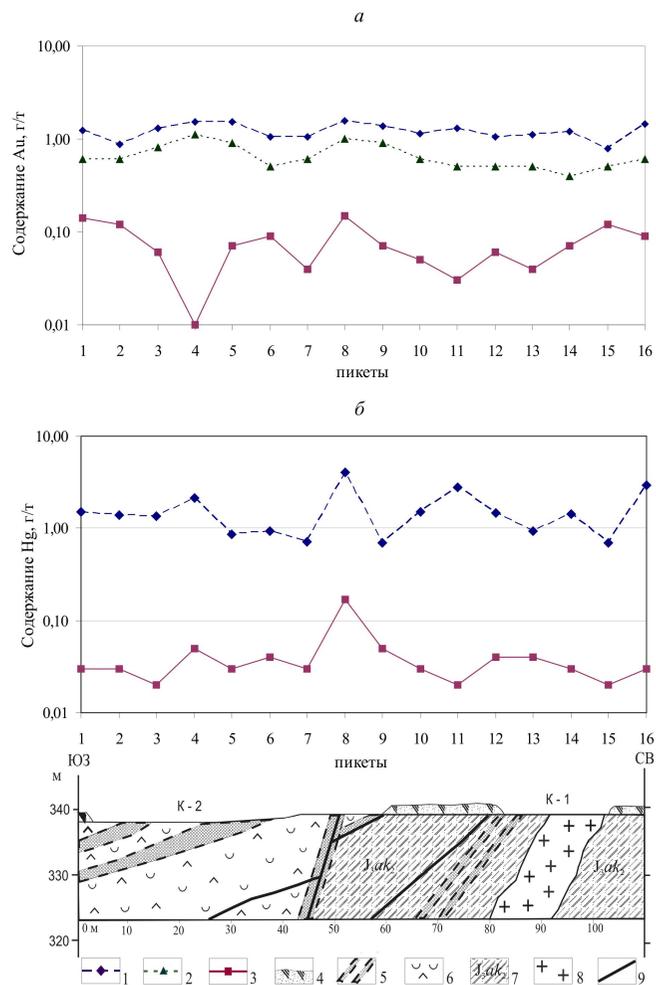


Рис. 9. Графики распределения содержаний золота (а), ртути (б) в растениях, почве и коренных породах по линии канав 1-2 участка «Покровка-IV»:

1 – рододендрон даурский (ветки с листьями); 2 – коренная порода; 3 – почвенный горизонт «В»; 4 – почвенно-растительный слой, элювиальные отложения; 5 – рудные зоны с прожилково-сетчатым окварцеванием; 6 – туфы дацитов; 7 – алевролиты, аргиллиты аякской свиты (J_3ak_2); 8 – гранит-порфиры; 9 – разрывные нарушения.

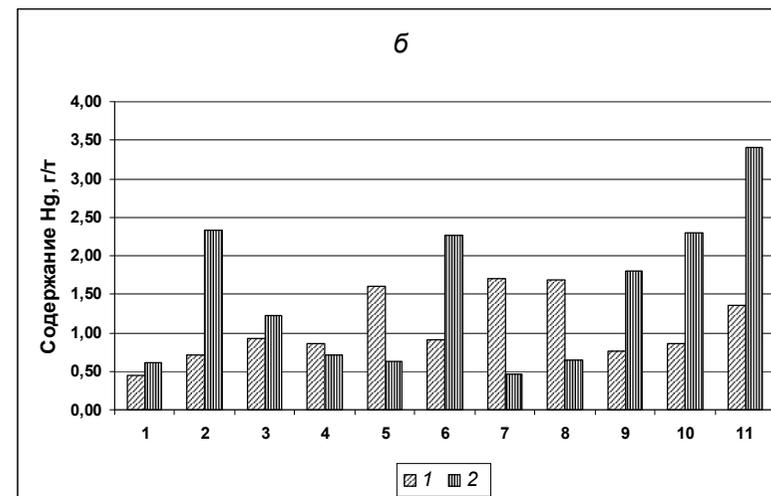
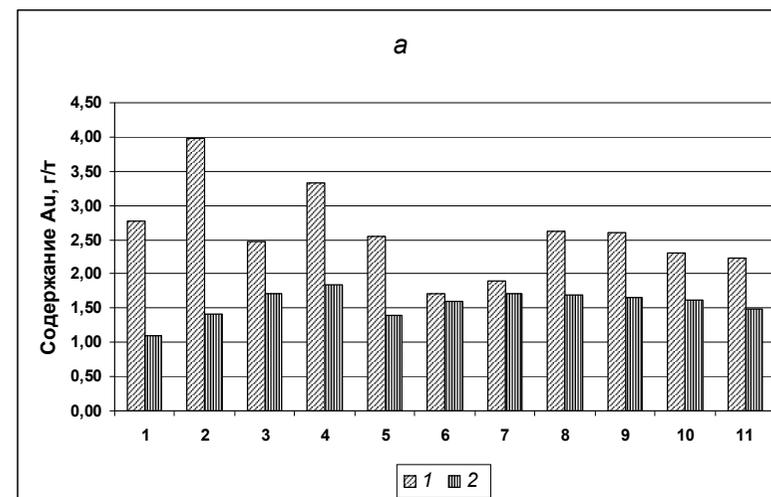


Рис. 10. Диаграмма соотношения концентраций золота (а) и ртути (б) в золе рододендрона даурского (по линии канавы 3) на участке «Покровка-IV»:

1 – сухой рододендрона даурского; 2 – живые ветки рододендрона даурского.

По данным Н.А. Озеровой (1986), минералами-концентратами ртути являются сфалерит (до 35%), блеклые руды (до 20%), антимонит и др. Но основным минералом-концентратом ртути нередко служит самородное золото (до 16,7%), еще больше ртути содержится в природных аурамальгамах (Степанов, Берзон, 1983).

Серебро. Концентрация серебра в почвах ($x_{\min}=0,25$ г/т, $x_{\max}=98,7$ г/т, $x_{\text{сред}}=1,41$ г/т) значительно превышает его содержание в биогеохимических пробах (РПК = 0,2). Это вызвано, во-первых, слабой мобилизацией подвижных ионных комплексов серебра в слабокислой (рН 5,6-6,2) среде буротаежных почв с низким содержанием фульвокислот, благодаря чему сульфаты серебра восстанавливаются до самородного Ag^0 и образуют контрастные литохимические ореолы (Иванов, 1997). Во-вторых, связано с наличием антиконцентрационного физиологического барьера поглощения у большинства живых растений против высоких содержаний серебра из-за его токсичности для них. В качестве основного биообъекта был опробован рододендрон (живые ветки с листьями). Содержания серебра варьируют в нем от 0,25 до 1,12 г/т, $x_{\text{сред}}=0,66\pm 0,12$. Были проанализированы три пробы сухостоя рододендрона даурского. Анализ показал аномальные значения серебра (в г/т) – 3,32; 7,17; 3,24 соответственно. Аномальные концентрации серебра в сухостое кустарника вызваны тем, что этот элемент, по-видимому, образует в отмерших частях минеральные формы (биолиты Ag), аналогичные золоту (Ковалевский и др., 1992).

Валовой химический состав почвы и золы растений на участке «Покровка-IV» приведен в табл. 2.

Содержания в почвах SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и других компонентов находятся в прямой связи с породообразующими минералами и близки составу гранит-порфиров.

Анализ валового химического состава золы биообъектов выявил следующие особенности. В золе сухостоя рододендрона даурского наблюдается прямая зависимость между высокой концентрацией золота и содержанием SiO_2 (33,8%), Fe_2O_3 (3,86%) и Al_2O_3 (9,8%).

Таблица 2
Валовой химический состав коренных пород, почвы и золы растений рудопроявления «Покровка - IV»

Образец	n	Содержание, % на прокаленное вещество													Σ	
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	CO_2		H_2O
<i>Коренная порода:</i> дациты туфы дацитов гранит-порфиры	3	65,74	0,40	15,10	0,79	1,37	0,09	1,24	3,86	2,58	2,81	0,13	0,29	2,88	2,40	99,68
	4	64,66	0,42	13,12	1,10	1,32	0,09	2,16	4,28	0,15	1,93	0,14	2,72	5,26	2,55	99,90
	4	71,84	0,38	14,86	0,49	0,92	0,02	0,59	1,11	4,71	4,28	0,12	0,02	0,32	0,31	99,97
<i>Почва:</i> горизонт "В"	27	68,84	0,71	13,18	3,52	0,42	0,06	0,73	0,63	1,76	2,54	0,10	н.д.		7,51	100,00
<i>Зола растений:</i> рододендрон д. (жив.) рододендрон д. (сух.) кора листоветки д. кора березы плоскол.	27	21,72	0,27	7,87	2,39	н.д.	4,36	6,31	21,04	0,63	14,53	7,03	н.д.		13,84	99,99
	11	33,76	0,43	9,80	3,86	н.д.	3,55	4,16	20,01	0,73	4,94	3,28	н.д.		15,44	99,96
	21	27,30	0,32	7,44	2,50	н.д.	2,33	4,07	23,59	0,71	5,32	12,58	н.д.		13,64	99,80
17	28,32	0,37	6,79	3,03	н.д.	14,10	4,19	12,04	1,00	3,62	7,60	н.д.		18,89	99,95	

Примечание: н.д. – нет данных.

Зола зеленых веток рододендрона характеризуется повышенным содержанием MgO – 6,31%, K₂O – 14,53%, CaO – 21,04%. Зола коры березы плосколистной обогащена MnO – 14,1%, зола коры лиственницы P₂O₅ – 12,6%.

В результате опытно-методических биогеохимических исследований, проведенных на участке «Покровка-IV», сделаны следующие выводы: золотосеребряное оруденение в пределах полузакрытого таежного ландшафта сопровождается интенсивными биогеохимическими аномалиями золота и ртути; количественно-информативными биогеохимическими индикаторами концентраций рудного золота на участках водоразделов, увалов и пологих склонов являются сухостой рододендрона даурского, кора лиственницы даурской и кора березы плосколистной.

3.2. Участок «Алкаган»

В 2001 г. автором были проведены опытно-методические биогеохимические исследования на участке «Алкаган» в долине ручья Малый Алкаган с разведанной россыпью золота. Ручей Малый Алкаган является правым притоком ручья Алкаган, впадающего в р. Улунга. Золотоносность долины этого ручья была установлена при разведке россыпи в разные годы (1933, 1947, 1966, 1996). По сведениям из фондовых материалов, в начале XX в. ниже устья ручья Зоновский – правого притока ручья Малый Алкаган – велась отработка россыпи и добыто 200 кг золота. В 1996 г. старателями артели «Улунга» пройдены четыре буровые линии через 1200 м, подсчитаны прогнозные ресурсы россыпного золота по категории P₁ (Иванищенко, 1996ф).

3.2.1. Ландшафтные условия

Долина ручья Малый Алкаган расположена в таежно-мерзлотной зоне Верхнего Приамурья, в подзоне южной тайги, представлена супераквальным закрытым ландшафтом.

Рельеф участка увалисто-холмистый, слабо расчлененный, с абсолютными отметками 320-350 м. Протяженность долины – более 6 км, ширина – 300-500 м, поперечный ее профиль сим-

метричный, пологий. Склоны без заметного уступа переходят в пойму. Пойма повсюду заболочена.

В долине развиты торфяно-глеевые и болотные торфяные почвы. Условия залегания этих почв обуславливают формирование торфянистого горизонта и развитие глеевых процессов. Болотные почвы имеют сильноокислую реакцию солевого раствора по всему профилю (рН 2,5-3,8). Район входит в зону распространения островной многолетней мерзлоты долинного типа мощностью до 50 м. В зоне холодных длительно промерзающих почв разложение органических веществ верхних горизонтов почвы замедлено, что ведет к образованию гумуса фульватного типа.

Значительную площадь занимают переувлажненные и заболоченные участки долины с лиственничным редколесьем. Тальвеговые пространства долины заняты безлесной марью с болотной травянисто-кустарниковой растительностью (рис. 1 и 2).

Растительный покров представлен осоково-гипновым, кустарничко-осоково-сфагновым комплексами с багульником болотным (*Ledum palustre*) и голубикой (*Vaccinium uliginosum*). Марь занята преимущественно видами кустарниковых берез (ерником), состоящими из березы кустарниковой (*Betula exilis*), березы овальнолистной (*Betula ovalifolia*) и березы Миддендорфа (*Betula Middendorffii*). Повсеместно в долине распространены кустарники ивы черниковидной (*Salix myrtilloides*) и коротконожковой (*Salix brachypoda*), а также таволги иволистной (*Spiraea salicifolia*). Из трав господствуют вейник (*Calamagrostis purpurea*) в сочетании с влаголюбивыми осоками (*Carex sp.*), создающими заочкаренность участка.

3.2.2. Геологическое строение

Стратифицированные образования на площади представлены осадочными отложениями палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста (рис. 11).

Ольдойская свита (D₂₋₃ol₂) слагает левый борт долины выше устья ручья и представлена алевролитами, аргиллитами с линзами мелкозернистых песчаников и темно-серых известняков. Общая мощность свиты оценивается в 700-800 м.

Типаринская свита (C_{1pr}) распространена на левобережье ручья, от его истоков до устья, на площади более 10 км². Она представлена разнородными светло-серыми песчаниками, зеленовато-серыми алевритами и аргиллитами.

Аякская свита (J_{3ak}) развита в верховье и на правобережье ручья, сложена темно-серыми до черного цвета алевритами, аргиллитами.

Сазанковская свита (N_1^{3sz}) представлена толщей каолинсодержащих песчаных отложений полевошпат (68%)–кварцевого (31%) состава с гравием и галькой, мощностью 30-45 м. Отложения сазанковской свиты развиты в междуречье ручья Малый Алкаган и ручья Алкаган.

Четвертичные породы (Q_{II-IV}) представлены аллювиальными отложениями речных долин и элювиально-делювиальными образованиями.

Литологический разрез рыхлых отложений долины ручья Малый Алкаган, по данным А.К. Иванищенко (1996), представлен (сверху вниз):

почвенно-растительный слой, торф, мощностью 0,4-2,4 м;

глина бурая, ил темно-серый с песком до 30-40% и мелким щебнем до 5-10%, мощностью 0,4-4,4 м;

разнородный песок (30-40%), гравий (20-30%), плохо окатанный галечник (30-40%) с примесью глины до 5-10%, мощностью 0,4-2,8 м.

Общая мощность рыхлых отложений, включая биогенные образования, колеблется от 0,8 до 6 м и составляет в среднем 4,4 м. Торфяной покров развит по всей ширине поймы, с максимальной мощностью в прирусловой части. Породы находятся в многолетнемерзлотном состоянии.

В основании рыхлых отложений крупнообломочный русловой аллювий слабо золотоносен на всю мощность и по всей ширине долины. Содержания золота на пласт (по буровым скважинам 1996 г.) составляют 113-554 мг/м³. Относительно повышенные содержания характерны для участков, которые подстилаются песчаниками. В приплотиковой части было отмечено золото до 226 мг/м³.

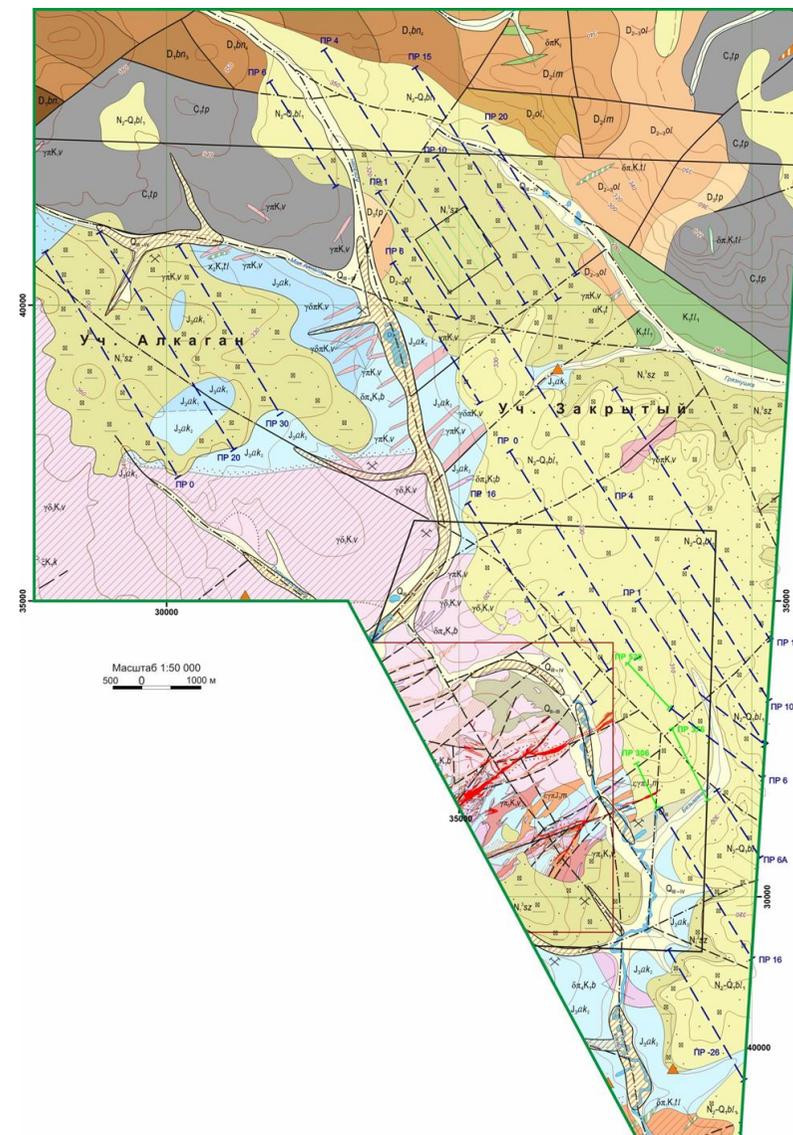
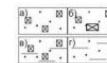


Рис. 11. Геологическая карта участков «Алкаган» и «Закрытый» (Соколов и др., 2012ф).
Условные обозначения – с. 52, 53.

Четвертичная система	Q_{m-IV}	Верхнечетвертичные-современные отложения. Аллювиальные пески, алевриты, галечники, аллювиально-делювиальные алевриты с дресвой, торф		
	Q_m	Верхнечетвертичные отложения. Аллювиальные пески, галечники		
	Q_{m-III}	Средне-верхнечетвертичные отложения. Аллювиальные галечники, пески		
	N_2-Q_2, b, l_1	Белогорская свита. Нижнебелогорская подсвита. Аллювиальные пески, пески с гравием, алевриты, галечники		
	N_1, sz	Неогеновая система. Верхний миоцен. Сазанковская свита. Аллювиальные и озерно-аллювиальные алевриты, глины, пески		
	K, l, l_1	Меловая система. Талданская свита. Нижнеталданская подсвита. Андезиты средне- и мелко-среднепорфировые; туфы андезитов, дацитов; туфы умеренно-кислого состава аргиллизированные; андезиты, андезито-дациты средне-крупнопорфировые экстразивной фации; туфы андезитов жерловой фации		
	Юрская система	Верхний отдел	J_2, a, k_1	Аякская свита. Верхнеаякская подсвита. Песчаники полимиктовые серые мелкозернистые и среднезернистые. Прослои алевритов и аргиллитов темно-серых
			J_2, a, k_2	Аякская свита. Нижнеаякская подсвита. Алевриты, аргиллиты темно-серые, до черных; единичные прослои песчаников полимиктовых мелкозернистых темно-серых и среднезернистых серых
		Нижний отдел	C, l, p	Каменноугольная система. Нижний отдел. Типаринская свита. Песчаники среднезернистые до крупнозернистых, светло-серые, алевриты, аргиллиты зеленовато-серые, редко кремнистые алевриты. Прослои песчаников мелкозернистых, известняков-ракушяков, известковистых песчаников. В основании - песчаники грубозернистые
Девонская система	Средний-верхний отделы	D_2, p	Верхний отдел. Тепловская свита. Грубое переслаивание песчаников мелкозернистых серых и алевритов зеленовато-серых полосчатых. Редкие пачки частого переслаивания песчаников мелкозернистых, алевритов и аргиллитов	
		$D_2, ol_1, 2$	Верхняя подсвита. Песчаники, часто известковистые, реже алевриты, аргиллиты, кварцевые песчаники, известняки	
		D_2, ol_1	Нижняя подсвита. Алевриты, аргиллиты, часто известковистые, реже песчаные	
		D_2, ol	Ольдойская свита. Не расчлененная. Алевриты зеленовато-серые массивные и линзовидно-слоистые, аргиллиты темно-серые тонкослоистые, единичные прослои и линзы песчаников мелкозернистых серых, известняков и известковистых алевритов	
	Нижний отдел	D_2, im	Средний отдел. Имачинская свита. Известняки, песчаники, часто известковистые, реже известковистые алевриты, и аргиллиты	
		Большаяевская свита	D, bn_4	Четвертая толща. Песчаники, флишодное переслаивание песчаников и алевритов, реже кварцито-песчаники, известняки, алевриты, иногда известковистые
			D, bn_3	Третья толща. Переслаивание алевритов, песчаников, алевро-аргиллитов, часто ритмичное, кварцито-песчаников, кварцито-алевоаргиллитов
			D, bn_2	Вторая толща. Песчаники, реже алевриты, известняки
			D, bn_1	Первая толща. Алевриты, алевро-аргиллиты, реже песчаники, известняки
		Раннемиеловые образования	Верхнемагданинский комплекс	δ, k, b
δ, k, b	Буридинский комплекс. Первая фаза - андезиты, диорит-андезитовые порфириты (α, δ, k, b). Вторая фаза - диоритовые порфириты (δ, k, b). Четвертая фаза - гранодиорит-порфириты (γ, δ, k, b)			
δ, k, b	Талданский субвулканический комплекс. Первая фаза - дайкообразные тела андезитов (α), диорит-порфиритов (δ, k) среднепорфировых, кварцевых диорит-порфиритов (δ, k) средне- и крупнопорфировых. Вторая фаза - дайкообразные тела спессартитов.			
γ, δ, k, v	Пятая фаза. Гранит-порфиры			
Воркужанский комплекс	γ, δ, k, v		Третья фаза. Гранодиориты, реже диориты, кварцевые диориты, крупно- и среднезернистые порфировидные с краевой фацией мелко-среднезернистых гранодиоритов, редко кварцевых диоритов и гранитов	
	γ, δ, k, v		Дайки и дайкообразные тела кварцсодержащих диоритовых порфиритов (δ, k), гранит-порфиров (γ, δ) крупно- и грубопорфировых; гранодиорит-порфиров, реже кварцевых диоритовых порфиритов средне- и мелко-среднепорфировых (δ, k, v)	
	δ, k, v		Позднеюрские образования. Магдагачинский комплекс. Субщелочные гранит-порфиры	
	δ, k, v			
	δ, k, v			
	δ, k, v			



Пески с гравием (а); пески с гравием, галькой и валунами (б); отложения с большим содержанием пылеватых и глинистых частиц (в); суглинки (г)

Гидротермально-метасоматические изменения

- Минерализованные зоны с прожилково-сетчатым окварцеванием (количество прожилков 20 - 100 на пог. м)
- Минерализованные зоны перекрытые аллювиальными отложениями
- Зона интенсивных гидротермально-метасоматических изменений: окварцевания (q), аргиллизации (ag), серицитизации, гидрослюдизации (sr) сульфидизации (s)
- Скарны и скарнированные породы
- Ороговикованные породы
- Кора выветривания

Границы между разновозрастными геологическими образованиями, а также границы покровов, горизонтов и линз: достоверные (а) и предполагаемые (б)

Разрывные нарушения: достоверные (а), предполагаемые (б), перекрытые рыхлыми отложениями (в)

Элементы залегания контактов, слоистости, рудных зон

Золоторудное месторождение Пионер (контур лицензионной площади)

Рудопроявление золота
 Пункт минерализации золота

Россыпные месторождения золота



Результаты работ по объекту за 2010-2011 гг.

Буровой профиль и его номер, по которым проведена съемка

Опытный участок съемки и профили опробования по сети 200x40 м

Профили геохимической съемки и их номера 2011 г. (шаг 40 м)

Промышленные содержания золота (389 мг/м^3 пласта мощностью 1,2 м) определены по линиям 24, скважинам 18 и 44, скважине 20 (1200 мг/м^3 на пласт мощностью 0,4 м).

Основное золото в россыпи (90,7%) относится к мелкому и весьма мелкому. Золото размером менее 0,8 мм представлено единичными плохо окатанными зернами рудного облика и желтого цвета; мелкое и весьма мелкое – зернами уплощенной формы, со слабо сглаженными гранями. Реже встречаются изометричные округлые формы и формы в виде лепешек. Цвет золота желтый и темно-желтый, проба – 867‰.

Коренные осадочные породы палеозойского и юрского возраста прорваны маломощными (0,5-50 м) окварцованными и пиритизированными дайками гранодиоритов и гранит-порфиров раннемелового возраста.

Источником россыпей являются небольшие золотоносные кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы и зоны прожилкового окварцевания с сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены преимущественно пиритом. Содержание золота в штучных пробах кварца и окварцованных пород составило от 0,3 до 10 г/т.

По данным А.А. Луцья (Луцей, 1990ф), россыпи района, в том числе россыпь ручья Малый Алкаган, относятся к россыпям ближнего сноса и располагаются либо непосредственно на коренных источниках, либо на ближайшем от них удалении. Источники сноса находятся в прирусловой, тальвеговой части и не выходят за пределы долины. По данным буровых работ 1996 г., ресурсы россыпного месторождения золота ручья Малый Алкаган оценены по категории P_1 в количестве (х/ч) – 15,6 кг, при среднем содержании 288 мг/м^3 , а по ручью Зоновский – 10,8 кг, при среднем содержании 674 мг/м^3 (Иванищенко, 1996ф).

3.2.3. Результаты биогеохимических исследований

Опытно-методические работы на россыпи Малый Алкаган включали в себя оценку ландшафтных – геоморфологических, флористических, геологических – особенностей участка и постановку биогеохимической съемки в летний сезон (август). Биогеохимическое опробование производилось нами вдоль шурфо-

вочных и буровых разведочных профилей (1966 и 1996 гг.). Было заложено 14 биогеохимических профилей, протяженностью 150-470 м, вкрест простиранию долины водотока. Расстояние между профилями составило около 250 м, с точками отбора проб по профилю через 25-50 м.

Объектом опробования служили три доминирующих вида многолетних растений – ива черниковидная (*Salix myrtilloides*), ива коротконожковая (*Salix brachypoda*) и береза кустарниковая (*Betula exilis*). Отобрано и проанализировано 134 биогеохимические пробы.

Определение основных статистических параметров распределения элементов в выборках проб золы растений было выполнено в программе Microsoft Office Excel. Результаты приведены в табл. 3.

Установлено, что распределение значений содержаний Au ($0,05\text{-}10,47 \text{ г/т}$) и Ag ($0,06\text{-}137,64 \text{ г/т}$) в пробах золы растений, отобранных в долине ручья Малый Алкаган, подчиняется логнормальному закону, а Cu ($18\text{-}99 \text{ г/т}$, $x_{\text{сред}} = 69 \pm 2,43 \text{ г/т}$), Zn ($0,12\text{-}0,77\%$, $x_{\text{сред}} = 0,29 \pm 0,02 \%$), Ni ($10\text{-}96 \text{ г/т}$, $x_{\text{сред}} = 29 \pm 4,62 \text{ г/т}$), Co ($10\text{-}54 \text{ г/т}$, $x_{\text{сред}} = 17 \pm 2,27 \text{ г/т}$), Cr ($10\text{-}120 \text{ г/т}$, $x_{\text{сред}} = 35 \pm 5,12 \text{ г/т}$), Mn ($0,32\text{-}3,8 \%$, $x_{\text{сред}} = 2,26 \pm 0,14\%$) – нормальному закону.

Средние значения составили: Au – $0,793 \text{ г/т}$, Ag – $1,243 \text{ г/т}$ (при $m=9$). Фоновые содержания золота в биогеохимических пробах превышают средний (кларковый) уровень содержаний золота в золе наземной растительности в 160–300 раз, а средние содержания серебра – приблизительно в 10–20 раз (Иванов, 1997). Фоновые содержания Ni и Co варьируют на уровне кларковых; Cu и Cr – ниже кларковых; Zn и Mn выше кларковых в 2-4 раза.

Анализ корреляционных связей элементов по выборке, состоящей из 108 проб, выявил значимую положительную корреляцию в распределении золота и серебра в золе растений на участке «Алкаган». Парный коэффициент корреляции между Au и Ag составил $+0,56$ (Юсупов, 2002).

Для характеристики выявленных биогеохимических аномалий рассчитаны коэффициенты концентрации (Kc), равные отношению содержания элемента в золе растений в пределах аномалий к его фоновому содержанию.

Таблица 3
Распределение химических элементов в золе растений участка «Алкаган»

Элемент	Объект*	N	Содержание, г/г			Статистические параметры						Kс	КК ₆
			X _{min}	X _{max}	X _{сред.} (С _{фон})	S	A	Э	У%				
As	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	2	107	0,050	4,860	0,321±0,090	0,47	0,38	-0,14	78	-	160,50		
	3	17	0,060	10,470	0,469±0,230	0,60	0,65	0,65	45	1,46	234,50		
Ag	1	7	0,120	1,680	0,60±0,399	0,53	1,68	3,53	88	1,87	300,00		
	2	107	0,060	137,640	0,630±0,120	0,61	0,94	1,85	97	-	10,50		
	3	17	0,060	9,360	0,417±0,330	0,67	0,43	-0,61	52	0,66	6,95		
Cu	1	6	0,150	63,00	1,070±0,720	1,77	1,19	-0,23	90	1,70	17,83		
	2	104	18,0	99,0	69,0±2,43	12,40	-0,26	2,03	18	-	0,35		
	3	18	85,0	140,0	106,0±7,90	16,77	0,90	-0,05	16	1,54	0,53		
Zn	1	8	100,0	290,0	147,0±41,20	58,31	2,19	-1,89	40	2,13	0,74		
	2	107	1200	7700	2868±225,5	1166,0	1,51	3,95	41	-	3,19		
	3	18	1400	4500	3156±385,0	816,20	-0,18	-0,15	26	1,10	3,51		
	1	9	2300	4700	3667±656,0	984,0	-0,53	-1,53	27	1,28	4,07		

Продолжение табл. 3

Ni	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	2	106	10,0	96,0	29,0±4,62	23,79	1,30	0,80	82	-	0,58		
	3	18	10,0	95,0	39,0±12,03	25,50	0,78	-0,06	65	1,35	0,78		
Co	1	9	10,0	110,0	63,0±17,94	26,91	-0,40	2,05	43	2,17	1,26		
	2	106	10,0	54,0	17,0±2,27	11,70	1,71	2,21	69	-	1,13		
	3	18	10,0	42,0	19,0±5,26	10,83	0,75	-0,82	14	1,12	1,27		
Cr	1	9	10,0	40,0	20,0±7,51	11,27	0,77	-0,61	56	1,18	1,33		
	2	106	10,0	120,0	35,0±5,12	26,36	1,11	0,59	75	-	0,14		
	3	17	10,0	130,0	43,0±18,60	38,38	1,22	0,15	89	1,23	0,17		
Mn	1	9	10,0	92,0	43,0±16,70	24,99	0,99	0,80	58	1,23	0,17		
	2	92	3200	38400	22600±1400	6700	0,45	0,41	30	-	3,01		
	3	16	8200	15800	11400±1100	2229	0,30	-0,42	19	0,5	1,52		
	1	7	15200	48400	25600±9600	12700	1,22	0,24	50	1,13	3,41		

Примечание. *Объекты опробования: 1 – ива черная, 2 – ива коротконожковая, 3 – береза кустарниковая.

В результате проведенной работы в пределах долины ручья Малый Алкаган в среднем и нижнем его течении выявлена и оконтурена серия контрастных комплексных биогеохимических вторичных ореолов золота и серебра. В среднем течении расположены три ореола Au и Ag с коэффициентами концентрации $K_{Au} = 2-7$, $K_{Ag} = 2-51$; в нижнем течении – комплексный ореол Au и Ag ($K_{Au} = 2-13$, $K_{Ag} = 2-46$).

Биогеохимический ореол, расположенный в среднем течении ручья по правому борту долины, имеет вид выклинивающегося к руслу потока рассеяния, протяженностью более 600 м и шириной 100-50 м. Он зафиксирован тремя профилями и 10 аномальными точками с содержанием Au – 1,05-4,50 г/т ($x_{\text{сред}} = 2,91$ г/т) и Ag 1,32-63,00 г/т ($x_{\text{сред}} = 10,75$ г/т). Ореол расположен над дайкой окварцованных гранодиорит-порфиров северо-западного простирания.

Два других биогеохимических ореола расположены на правобережье в прирусловой части долины и имеют параметры 250×100 м. Ореолы отмечены на двух профилях и 5 аномальных точках с содержанием Au 1,08–5,16 г/т ($x_{\text{сред}} = 2,76$ г/т) и Ag 1,32–9,84 г/т ($x_{\text{сред}} = 6,84$ г/т). Они фиксируют россыпь золота, по которой подсчитаны прогнозные ресурсы категории P_1 .

В нижнем течении ручья Малый Алкаган на противоположных бортах долины расположен контрастный биогеохимический ореол, который определяет положение дайки окварцованных гранодиорит-порфиров северо-восточного простирания. Содержания золота в 7 пробах зола растений составили (в г/т) – 1,14-10,47 ($x_{\text{сред}} = 3,95$); серебра – 2,04-57,12 ($x_{\text{сред}} = 23,52$).

Биогеохимические ореолы серебра конформны эпицентрам максимальных содержаний золота, отличаются большей контрастностью и большей локальностью. Согласно геометрии выявленных биогеохимических ореолов золота и серебра обосновано существование двух их источников – россыпного и рудного.

Высокие содержания золота и серебра в золе растений, отобранных по биогеохимическому профилю вдоль буровой линии № 24, определяют местоположение золотоносного пласта разведанной россыпи на глубине 3,5-4 м (рис. 12).

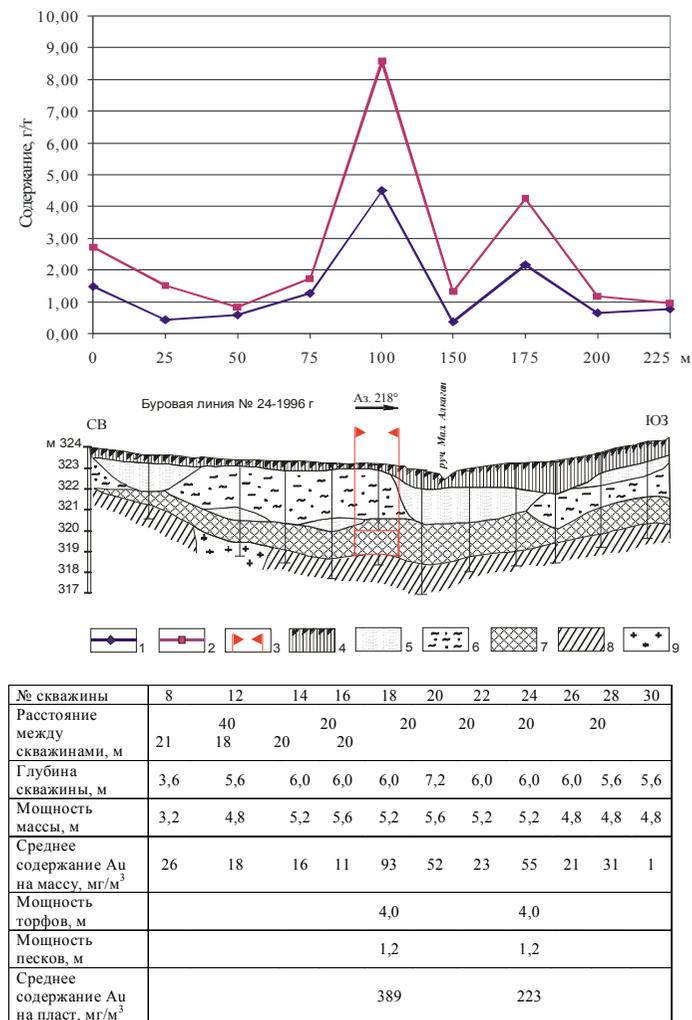


Рис. 12. Распределение золота и серебра в золе растений по биогеохимическому профилю № 24 над россыпью долины ручья Малый Алкаган:

1 – золото; 2 – серебро; 3 – выявленная россыпь золота с ресурсами категории P_1 ; 4 – почвенно-растительно-торфяной слой; 5 – современные аллювиальные пески, галечники, глины; 6 – верхнечетвертичные аллювиальные пески, галечники, гравийники, глины; 7 – среднечетвертичные аллювиальные пески, галечники с валунами; 8 – верхнеюрские песчаники, алевролиты, аргиллиты; 9 – окварцованные дайки гранит-порфиров.

Рудный облик, невысокая проба золота в рыхлых отложениях, слабый снос рудного материала указывают на близость россыпей к коренному источнику. Другим источником биогеохимических аномалий золота и серебра служат небольшие интрузивные тела гранодиоритового и гранитового состава с золотоносным прожилковым окварцеванием. Примером является биогеохимический профиль по буровой линии № 12 (рис. 13). По данным разведки, содержания свободного золота на массу песков в скважинах составили не более 1-30 мг/м³. Содержания золота в биогеохимических пробах достигают более 10 г/т, серебра – более 60 г/т.

Пики содержаний благородных металлов наблюдаются над дайками окварцованных золотосодержащих гранит-порфиров на флангах профиля. Следовательно, выявленные контрастные биогеохимические аномалии золота и серебра могут служить поисковым критерием золотой минерализации в коренном залегании. Пики аномалий золота и серебра сопряжены между собой.

Полученные результаты свидетельствуют, что золото и серебро в данных условиях среды подвижны и интенсивно поглощаются опробованными видами растений по безбарьерному типу. Золото подвижно и доступно для растений в условиях многолетней мерзлоты (Тайсаев, 1981). При периодическом промерзании и оттаивании оно переходит в раствор и приобретает повышенную биофильность. В анаэробных условиях Au мигрирует в виде иона AuS⁻, а также в виде растворимых золотоорганических фульвокомплексов (Миллер и др., 1973).

Изложенные в главах 2 и 3 материалы позволяют сделать следующий вывод: **золото-серебряное оруденение в условиях полузакрытого таежного элювиального ландшафта (участок «Покровка-IV») сопровождается биогеохимическими аномалиями золота и ртути. Количественно-информативными биогеохимическими индикаторами концентраций рудного золота на участках водоразделов, увалов и пологих склонов являются сухостой рододендрона даурского (*Rhododendron daurica*), кора лиственницы даурской (*Larix daurica*) и кора березы плосколистной (*Betula platyphylla*), а ртути - живые побеги рододендрона.**

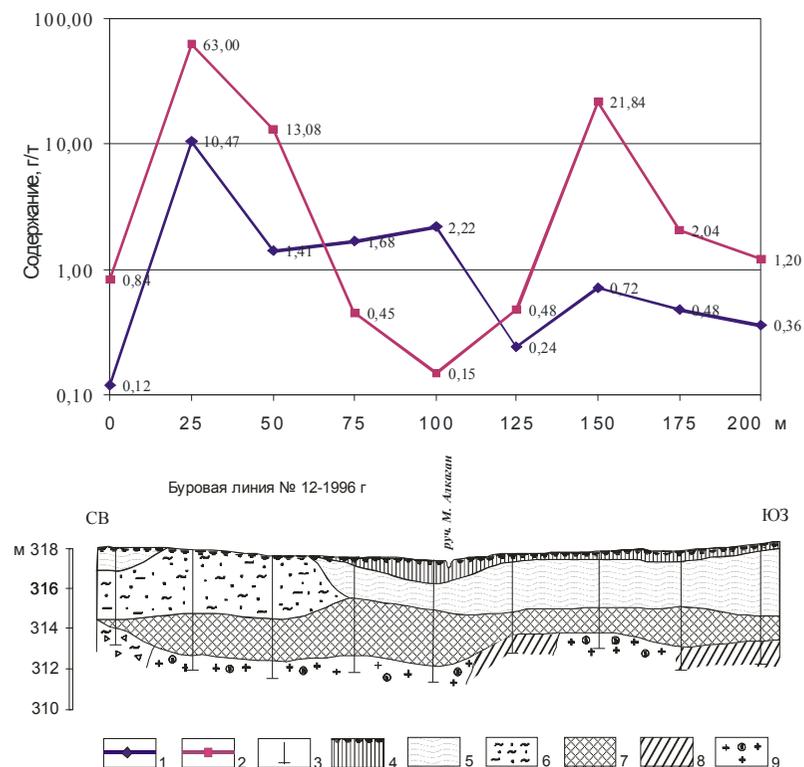


Рис. 13. Распределение золота и серебра в золе растений по биогеохимическому профилю № 12 над интрузивными образованиями долины ручья Малый Алкаган. Условные обозначения приведены на рис. 12.

Золотосеребряная минерализация в коренном залегании и аллювиальная россыпь золота в условиях элювиально-супераквального закрытого ландшафта (участок «Алкаган») сопровождаются биогеохимическими аномалиями золота и серебра. Контрастность биогеохимических аномалий золота и серебра над их коренными источниками превышает контрастность аномалий золота и серебра над россыпными объектами. Количественно-информативными биогеохимическими индикаторами концентраций руд-

ного и россыпного золота на заболоченных участках речных долин и падей, в нижних частях склонов являются: ива черниковидная (*Salix myrtilloides*), ива коротконожковая (*Salix brachypoda*), береза кустарниковая (*Betula exilis*).

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ (на примере Соловьевского узла)

Целью исследования явилась оценка информативности биогеохимического метода поисков (биогеохимической индикации) техногенных скоплений ртути, минералов благородных и цветных металлов на территориях традиционной россыпной золотодобычи. Исследования проведены в пределах участка шлихообогатительной установки (ШОУ) Соловьевского прииска одноименного рудно-россыпного узла, расположенного на западном фланге Приамурской золоторудной провинции (Степанов и др., 2008).

Соловьевский узел (рис. 1, № 16) характеризуется самой высокой удельной россыпной золотоносностью в Верхнем Приамурье. Главные геотектонические структуры Соловьевского узла – Аносовский гранитоидный плутон, Янканская и Шахтаунская зоны Янкано-Тукурингского блока Амура-Охотской системы Монголо-Охотского складчатого пояса, Ольдойский и Стрелкинский прогибы, Урканская впадина. Основной золоторудный объект узла – Кировское месторождение, от которого начинается уникальная по богатству россыпь р. Джалинды. Из Джалиндинской россыпи добыто более 100 т золота (Мельников и др., 2006).

4.1. Участок ШОУ Соловьевского прииска

4.1.1. Ландшафтные условия

Техногенный интразональный ландшафт представлен участком территории, на котором размещена действующая ШОУ Соловьевского прииска. Участок расположен на окраине поселка Соловьевск Тындинского района Амурской области, в долине р. Джалинды, откуда в 1868 г. началась промышленная добыча россыпного золота в Верхнем Приамурье (Анерт, 1928).

Шлихообогащательная установка предназначена для гравитационного обогащения золотосодержащих концентратов, переработки отходов золотодобычи и извлечения из них золота. ШОУ эксплуатировалась с 1971 г. До 1988 г. здесь применялась технология амальгамации. «Хвосты» (отходы) переработки шлихового концентрата золота, содержащие металлическую ртуть, складировались открытым способом в хвостохранилище на окраине пос. Соловьевск. В результате эксплуатации ШОУ на прилегающей к ней территории сформировался локальный очаг загрязнения токсичными элементами первого (Hg, As, Pb, Zn) и второго (Sb, Cr, Cu) классов опасности.

Хвостохранилище ШОУ в плане имеет вид прямоугольника длиной примерно 170 м, при ширине 50 м. Площадка под хвостохранилище не обустроена для хранения отходов, не имеет четких границ и заградительных сооружений. Естественной границей хвостохранилища с западной стороны является промышленная зона ШОУ, с южной – дорога, жилой и хозяйственный секторы поселка, с восточной – дорога и русло р. Джалинды (рис. 14).

Расширению очага техногенного загрязнения способствовали периодически проводимые прииском бульдозерные работы в пределах хвостохранилища – забирались отходы для повторного доизвлечения из них шлихового золота. Общая площадь загрязнения на момент биогеохимического изучения (1999 г.) составила более 1 га, с объемом отходов около 10,5 тыс. м³.

4.1.2. Минералогическая и геохимическая характеристика

Для оценки минерального и геохимического состава техногенных отложений, загрязненных ртутью, благородными и другими тяжелыми минералами, на территории ШОУ и за ее пределами проводили проходку шурфов (Степанов и др., 1999ф). Всего пройдено 9 шурфов, глубиной от 0,4 до 2,5 м, с опробованием по стенке бороздовым способом секциями по 0,2 м (рис. 15, 16).

Почвенно-растительный слой (мощностью до 0,1 м) сохранился небольшими участками на северной окраине хвостохранилища. На техногенных отложениях отмечены отдельные фрагменты растительности. Основная площадь территории лишена естественного почвенно-растительного покрова.

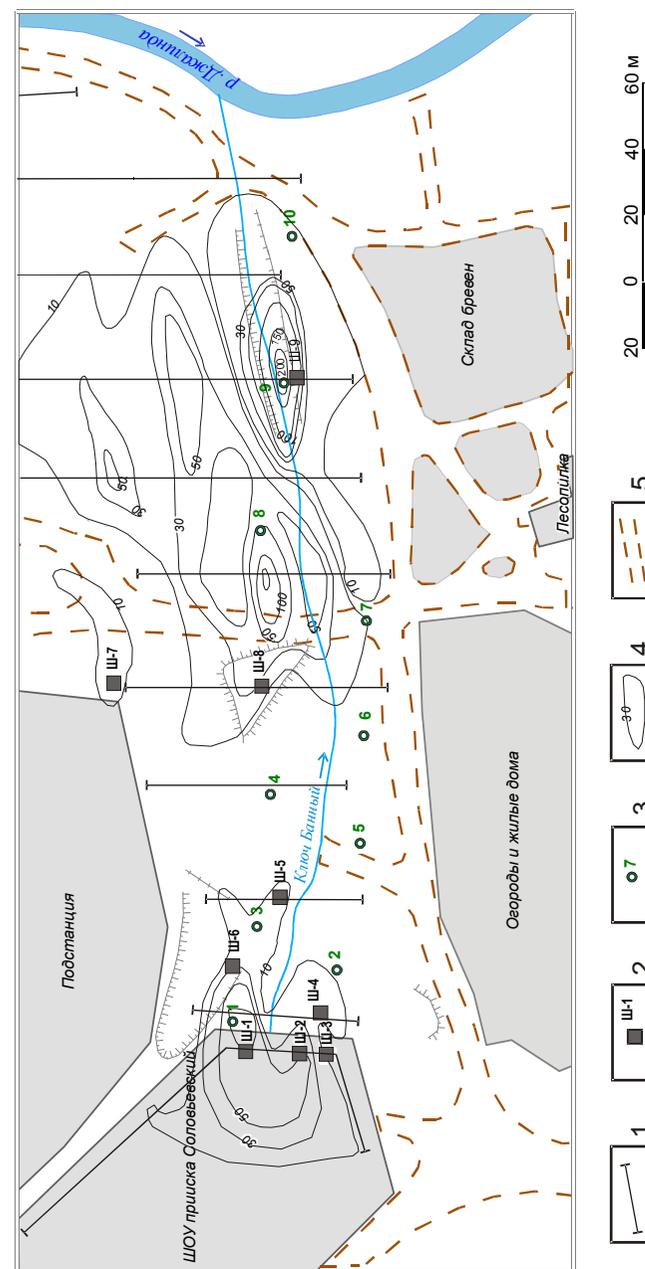


Рис. 14. Схема расположения очага заражения ртутью в пос. Соловьевск:

1 – профили наземной газо-ртутной съемки; 2 – шурфы и их номера; 3 – точки отбора биогеохимических проб растительности и их номера; 4 – изолинии концентрации ртути в почвенном воздухе в $\mu\text{г}/\text{м}^3$; 5 – дороги, тропинки.

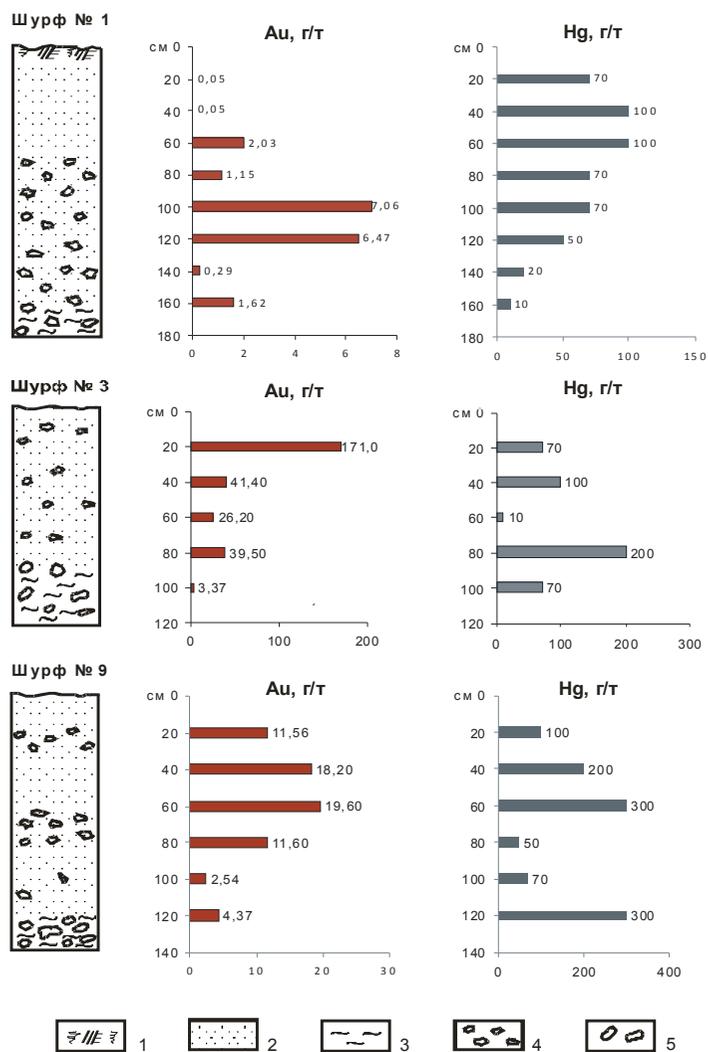


Рис. 15. Распределение содержаний золота и ртути в вертикальном профиле шурфов № 1, 3, 9 техногенных отложений ШОУ Соловьевского прииска:

1 – почвенно-растительный слой; 2 – пески с отходами шлиха; 3 – глины; 4 – щебень; 5 – валуны.

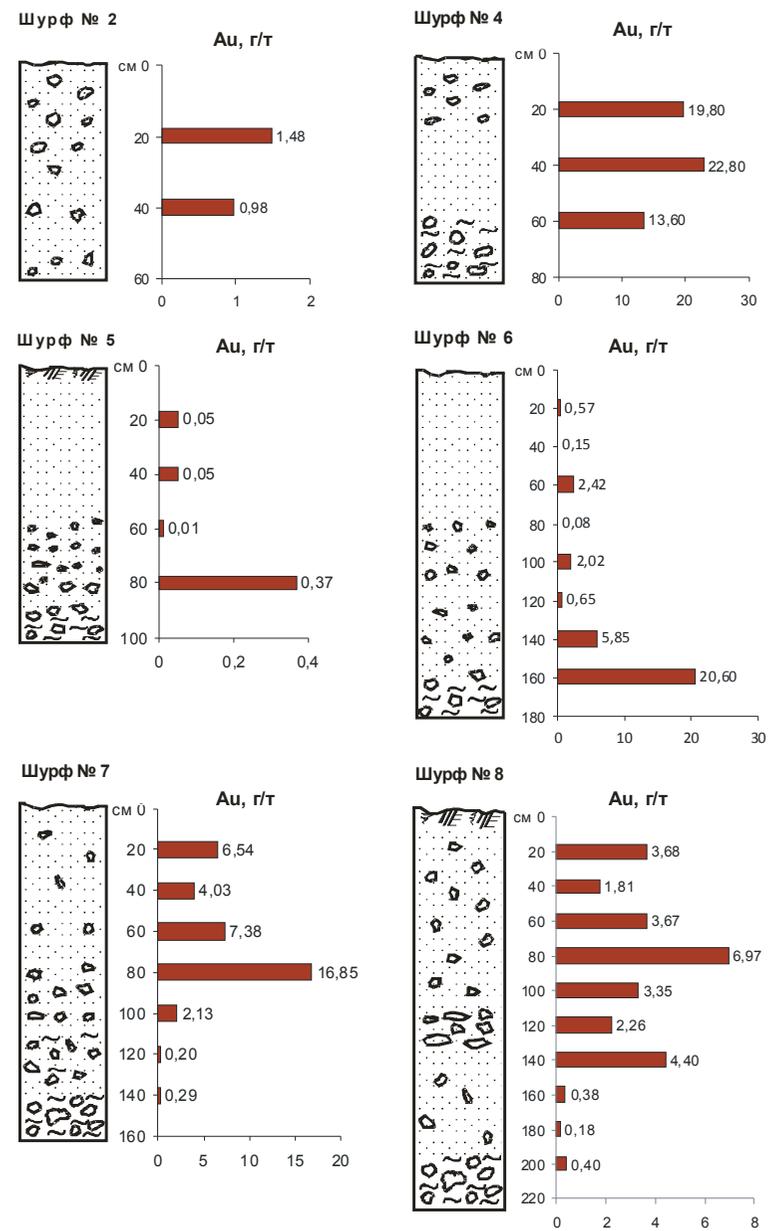


Рис. 16. Распределение содержаний золота и ртути в вертикальном профиле шурфов № 2, 4-8 техногенных отложений ШОУ Соловьевского прииска. Условные обозначения приведены на рис. 15.

Толща техногенных отложений представлена песчано-щебнистой смесью с высоким содержанием шлиха, с прослоями песка, обломками строительного мусора и золошлака. Мощность техногенных отложений хвостохранилища меняется от 0,4 м в юго-западной части до 1,2-2,3 м – в восточной. Средняя мощность отложений – 1,14 м.

Подстилающие аллювиальные отложения представлены валунами, галькой, щебнем, с глинистым заполнением. Судя по разрезам и обильному водопритоку в выработках шурфов, площадка для складирования отходов ШОУ не имеет водоупорного горизонта в основании, в результате поверхностные воды фильтруются сквозь отходы и аллювиальные осадки в речную систему р. Джалинды.

Материал проб, отобранных секциями из шурфов, расситовывали по крупности на классы (+3), (-3+0,1) и (-0,1) мм, разделяли на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции, а затем анализировали минералогическим, спектральным, атомно-абсорбционным методами. Для разработки технологии обезвреживания отходов из хвостохранилища с помощью экскаватора отобрана крупнообъемная технологическая проба весом 434 кг.

Минералогическим анализом в составе шлихов техногенных отложений (отходов) установлено около 20 минералов (табл. 4). Доля рудных минералов составляет 76-94% от веса пробы. На нерудные минералы приходится в среднем 15%, среди них амфибол, гранат, циркон. Рудные минералы представлены магнетитом, ильменитом, хромитом, вольфрамитом, халькопиритом, арсенопиритом, галенитом и самородным золотом. В отдельных пробах встречаются самородная платина и сперрилит.

В техногенных отложениях определены ураганные содержания амальгамы и самородной ртути. Так, в одной из проб весом 45 кг количество извлеченной ртути достигало 300 г. Минералогическим анализом установлено, что размеры зерен золота варьируют от 0,05 до 1,3 мм. Класс 0,45-0,75 мм составляет 65,7% золота, класс 0,15-0,45 мм – 25,2%, класс менее 0,15 мм – 5,5%, класс более 0,75 мм – 3,6%.

Таблица 4

Минеральный состав отходов хвостохранилища ШОУ пос. Соловьевск (в %) по фракциям

Показатели	Номер пробы						
	1	2	3	4	5	6	7
Вес пробы общей, кг	3,68	3,08	16,12	9,02	4,06	1,48	3,68
МФ							
Вес фракции, кг	2,06	1,57	10,27	5,22	2,36	0,79	2,17
магнетит	95	92	100	100	100	100	100
ильменит	5	8	-	-	-	-	-
ЭФ							
Вес фракции, кг	1,36	1,28	4,81	3,24	1,42	0,58	1,23
мартит	40	31	93	76	83	54	88
хромит	6	2	зн	зн	1	зн	1
ильменит	5	18	5	7	2	3	3
гранат	5	16	1	4	2	5	3
вольфрамит	8	2	-	-	зн	-	-
халькопирит	1	2	1	2	1	зн	1
арсенопирит	1	1	зн	зн	зн	-	зн
амфибол	22	23	-	-	4	-	3
гематит	-	4	-	7	2	-	-
галенит	1	-	-	зн	-	-	зн
сфен	4	1	-	3	зн	-	1
обломки породы	7	-	-	1	5	38	-
НФ							
Вес фракции, кг	0,25	0,21	1,0	0,57	0,23	0,1	0,27
циркон	98	98	100	100	100	100	100
киноварь	2	зн	зн	-	-	зн	зн
рутил	зн	2	зн	-	-	зн	зн
золото	0,12	0,08	0,635	0,265	0,640	0,425	0,155
амальгама	-	-	0,05	0,02	0,04	0,02	0,06

Примечание: фракции МФ – магнитная; ЭФ – электромагнитная; НФ – немагнитная тяжелая; зн – знаковые содержания; « - » (прочерк) – не обнаружено.

По морфологии преобладают пластинчатые формы зерен золота, более половины имеют скульптурные контуры. Степень окатанности различная. Крупное золото полуокатанное, золото класса 0,15-0,45 менее окатано, иногда встречаются неокатанные кристаллы в форме октаэдров. В классе менее 0,15 мм преобладает неокатанное золото рудного облика. Более 70% зерен золота покрыто пленкой гидроксидов железа (Моисеенко и др., 1998ф).

Кроме свободного золота, в шлихах из отходов ШОУ установлено золото, связанное в минералах. Количество его превышает количество свободного. Сростки золота с кварцем составляют около 90%. Остальные сростки представлены сульфидами. Проба золота – от 930 до 970‰.

Первичные рудные минералы в условиях хвостохранилища подвержены процессам, характерным для зон гипергенеза – растворению, окислению, значительно усиливающих миграционную способность тяжелых металлов, приводящих к изменению форм нахождения и уровней их концентраций. Здесь образуются токсичные продукты разложения минералов. Детально эти процессы изучены И.А. Тарасенко (1998) на примере хвостохранилищ обогатительных фабрик Дальнегорского района в Приморье.

В настоящее время к числу приоритетных загрязнителей почв относятся: As, Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr, Ba, V, W, Mn, Sr (ГОСТ 17.4.1.02-83). Из химических элементов наиболее токсичны первые пять – I класс опасности. Кобальт, никель, молибден, медь, сурьма – II класс опасности. Остальные элементы из приведенной группы отнесены к III классу опасности.

По данным спектрального полуколичественного анализа, средние содержания высокотоксичных металлов в пробах, отобранных по разрезам шурфов на полную мощность техногенных отложений хвостохранилища, составили (в г/т): Hg – 105 (50 ПДК); As – 141 (28 ПДК); Pb – 290 (10 ПДК); Cu – 159 (3 ПДК); Sb – 12,7 (3 ПДК); Zn – 167 (2 ПДК) (табл. 5).

По данным атомно-абсорбционного анализа, содержания благородных металлов в техногенных отложениях варьируют в пределах (в г/т): золота 0,05-60,20 ($x_{\text{сред}}=13,82$); серебра 2,0-7,0 ($x_{\text{сред}}=3,6$); платины 0,09-0,96 ($x_{\text{сред}}=0,34$); рутения 0,0014-0,074

($x_{\text{сред}}=0,036$); осмия 0,005-0,018 ($x_{\text{сред}}=0,008$); палладия 0,004-0,026 ($x_{\text{сред}}=0,015$). Содержания иридия и родия ниже порога чувствительности анализа. Кларки концентраций (по А.Е. Ферсману) составили для Au – 27640; Ag – 360; Pt – 5; Ru – 7; Pd – 3; Os – 2.

В стоках ручья Банного в период работы ШОУ содержание ртути и других токсичных металлов превышает ПДК как в осадках взвеси, так и в осадке выпаренной воды. Отдельный замер ртути в отфильтрованной и отстоявшейся воде показал содержание 0,0001 мг/л, в принудительно взмученной воде – 0,001 мг/л (2 ПДК). В р. Джалинде отобраны и проанализированы пробы воды выше впадения ручья Банного. В осадке и иле из русла реки содержания металлов значительно ниже (табл. 6).

Для оконтуривания очага ртутного загрязнения был применен метод газо-ртутной съемки. Газо-ртутные измерения выполнены на приборе АГП-01 (аналитик С.М. Радомский) по профилям, ориентированным в крест возможных потоков распространения ртути от ШОУ до русла р. Джалинды (рис. 14). Всего пройдено 10 профилей через 20 м, при шаге измерений 5 м. В каждой точке измерений по профилям проводили замеры атмосферного воздуха на высоте +30 см над поверхностью почвы и почвенного воздуха на глубине 30 см из бурок диаметром 5 см, пройденных с помощью лома. Общая протяженность профилей составила 510 погонных метров, а количество точек измерений – 115. Измерения производились в ясную погоду, при температуре 25°C и слабом южном ветре.

В результате газо-ртутных исследований установлено, что в поселке за пределами промышленной зоны ШОУ фоновые содержания ртути не превышают 0,0003 мг/м³. На территории ШОУ и прилегающих к ней участках отмечено значительное повышение содержания паров ртути в атмосферном воздухе – до среднего значения 0,0006 мг/м³, при максимальном 0,0014 мг/м³. В почвенном воздухе на прилегающей к ШОУ с востока территории аномально высокие содержания ртути (до десятых долей мг/м³). ореол аномальных содержаний ртути вытянут в широтном направлении на 180 м, при ширине 60 м и оконтуривает площадь хвостохранилища ШОУ (Степанов и др., 2003).

Содержания химических элементов в пробах отголов ШОУ Соловьевского притока

№ пробы	Вес, т	Спектральный анализ, г/т																	
		Атомно-абс. анализ, г/т		As	Sb	Pb	Sn	Mo	Cu	Zn	W	Bi	Ni	Co	Cr	V	Mn		
12163	7,75	Au	Ag	Hg	As	Sb	Pb	Sn	Mo	Cu	Zn	W	Bi	Ni	Co	Cr	V	Mn	
12166	8,35	38,4	4,0	300	100	20	1000	50	20	100	250	200	30	200	20	700	200	1500	
12167	8,9	6,0	4,0	20	200	20	300	30	30	50	200	300	7	100	40	700	150	3000	
12168	8,2	6,9	6,0	50	200	10	300	30	7	100	200	300	15	100	30	2000	200	5000	
12169	8,0	14,4	2,0	100	70	10	100	7	7	40	120	100	7	50	30	1000	200	1000	
12170	8,2	3,39	3,0	100	300	10	200	20	15	70	200	300	10	100	70	3000	300	3000	
12171	9,6	3,80	6,0	200	200	10	150	50	10	100	200	300	50	100	30	300	200	3000	
12172	9,6	2,29	5,0	100	15	100	10	10	70	150	70	150	70	30	70	20	700	150	3000
12173	9,6	0,15	7,0	<10	70	10	500	10	5	700	70	150	70	30	20	250	30	3000	
12174	10,1	3,41	4,0	30	100	15	150	15	7	400	200	50	10	100	30	1000	150	3000	
12175	10,5	10,9	4,0	100	100	20	200	5	5	50	100	30	10	70	20	700	100	500	
12176	10,3	2,16	3,0	150	120	-	200	5	5	70	150	30	30	70	30	1000	150	700	
Среднее содержание, г/т		8,35	4,36	105	141	12,7	290	27	11,7	159	167	166	24	90	30,9	1031	166	2427	

Содержания химических элементов во взвеси, иловых осадках ручья Банного и р. Джалинды в поселке Соловьёвск (по данным спектрального полуколичественного анализа)

Материал пробы	Содержание элементов, г/т																
	Au	Hg	As	Sb	Pb	Sn	Mo	Ag	Cu	Zn	W	Bi	Ni	Co	Cr	V	Mn
Осадок взвеси ручья	20	500	700	50	2000	20	30	2	300	250	200	100	200	200	500	150	7000
Осадок выпаренный из пробы воды ручья	10	70	300	20	300	7	10	1	100	100	100	30	100	50	150	50	180
Ил из русла реки	20	500	500	20	700	30	20	7	100	250	700	70	150	150	1000	200	5000
Осадок выпаренный из пробы воды ручья	2	-	100	7	50	20	3	0,3	40	70	-	15	30	5	30	10	1000
Ил из русла реки	-	-	70	10	30	2	1	0,07	30	50	30	1	40	10	70	70	400
Нижний предел обнаружения (чувствительность анализа)	1	7	30	3	1	1	0,5	0,03	1	50	3	0,5	1	1	1	3	1

4.2. Результаты биогеохимических исследований

Хвостохранилище ШОУ и прилегающая к ней территория были выбраны для биогеохимических исследований. Состав растительности изучался прежде всего как индикатор загрязнения почв и отложений. Биотические компоненты, к которым относятся и растения, наиболее чувствительны к повышенному содержанию химических элементов в окружающей среде. Биогеохимический метод в составе комплексного мониторинга позволяет оценить степень загрязнения техногенных экосистем тяжелыми металлами, в первую очередь – ртутью (Ивашов, 1996).

Ртуть является одним из самых чувствительных и информативных элементов-индикаторов при биогеохимических поисках, поскольку растения захватывают ее пропорционально содержанию в почве. В почвах, значительно загрязненных ртутью, корневое барьерное ее поглощение растениями уступает место безбарьерному некорневому накоплению парообразной ртути в наземных частях растений (Ковалевский, 1989).

Биогеохимическим методом выявлены техногенные аномалии ртути, золота, мышьяка и других элементов. Растительный покров исследуемого участка нарушен и разрежен. Были отобраны 11 доминантных видов, главным образом травянистых растений. Значения содержаний ртути определены в сухом веществе и пересчитаны на золу. Содержания элементов в золе различных видов растений представлены участка в табл. 7, параметры распределения элементов в золе растений – в табл. 8.

Пределы содержаний ртути в золе травянистых растений на фоновом участке составили (в г/т) 0,007-4,57 ($x_{\text{фон}} = 0,311$); на аномальном – 0,16-23,17 ($x_{\text{сред}} = 5,53$) (Юсупов, 2000). Коэффициент концентрации (Кс) ртути в биогеохимических пробах аномального участка – 17,8. Кларк концентрации ртути (КК) в биогеохимических пробах аномального участка относительно среднего содержания ртути в золе наземных растений (Иванов, 1997) достиг двух порядков.

Содержание золота в золе растений клевера ползучего (11,6 г/т) и лапчатки гусиной (4,4 г/т), произрастающих на отходах золотодобычи, сопоставимо с содержанием золота в руде.

Таблица 7

**Содержание элементов в золах растений, произрастающих
на отвалах ШОУ Соловьевского прииска**

Растение	Зольность, %	Содержание, г/т						
		Hg	Au	Ag	Pt	Pd	Ru	Os
Скерда кровельная (<i>Crepis tectorum L.</i>)	12,7	12,85	1,25	0,130	0,50	0,084	0,42	0,280
Крапива (<i>Urtica angustifolia</i>)	9,70	0,31	0,49	0,052	0,30	<0,020	0,43	0,097
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens L.</i>)	14,6	0,21	11,6	0,420	0,27	<0,020	1,28	0,076
Ива (<i>Salix sp.</i>)	7,50	2,67	0,31	0,048	0,40	0,030	0,60	0,064
Одуванчик обыкн. (<i>Taraxacum vulgare L.</i>)	10,9	5,51	3,05	0,120	0,21	0,030	0,69	0,067
Лебеда раскидистая (<i>Atriplex patulum L.</i>)	10,2	0,29	0,11	0,014	<0,20	0,028	0,44	0,062
Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense L.</i>)	18,5	0,16	0,13	0,032	0,30	<0,020	0,18	0,200
Жабрей (<i>Galeopsis sp.</i>)	14,12	0,21	0,10	0,290	<0,20	0,039	0,14	0,074
Зверобой утонченный (<i>Hypericum attenuatum</i>)	4,10	21,95	1,32	0,250	0,70	0,060	1,76	0,200
Лапчатка гусиная (<i>Potentilla anserina L.</i>)	10,01	23,17	4,40	<0,30	0,041	0,320	0,32	0,079
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris L.</i>)	12,2	2,30	0,76	0,140	<0,2	0,020	0,47	0,071

Таблица 8

**Валовое содержание металлов в золе растительности на отвалах
ШОУ Соловьевского прииска**

Элемент	Содержание, г/т			Статистические параметры					
	X _{min}	X _{max}	X _{сред}	S	A	Э	КК ₅	КБП	Кс
Au	0,11	11,61	2,16	3,42	2,51	6,73	2,16	432,0	-
Ag	0,014	0,42	0,14	0,12	1,52	2,63	0,14	1,40	1,1
Pd	0,0005	0,084	0,026	0,026	1,04	2,39	52,0	0,50	-
Os	0,062	0,28	0,12	0,08	1,45	0,88	240	2,40	-
Ru	0,14	1,76	0,61	0,49	1,66	2,39	?	12,2	-
Hg	0,16	23,17	5,53	6,91	1,55	2,22	92,2	110,6	17,78
Cu	12	200	45,73	54,08	2,68	7,83	0,2	0,50	0,76
Zn	15	100	36,36	27,12	1,58	2,12	0,04	0,20	0,53
Pb	5	700	109,27	204,29	2,89	8,71	10,9	6,80	3,64
Sb	1,5	10	2,37	2,65	2,51	6,41	47,4	4,70	-
As	10	50	22,73	20,54	1,58	1,74	75,8	4,50	22,73
Cr	7	40	19,9	12,40	0,91	-0,75	0,08	0,07	0,14
Ti	70	1500	668,62	418,16	2,10	4,60	0,67	0,12	0,17
Ni	1	17	8,5	5,97	0,26	-1,47	0,17	0,10	0,57
Co	1,5	10	3,41	2,75	1,76	2,67	0,23	0,17	0,62
Mn	100	700	365	188,64	0,24	-0,64	0,05	0,37	0,77
V	2,5	40	13,73	13,82	1,42	0,95	0,23	0,07	0,10
Sr	300	1000	545,46	196,79	1,14	2,08	1,82	1,60	-
Ba	200	1000	445,46	233,93	1,45	2,38	4,46	0,89	0,7

Эколого-геохимическая ситуация на исследованной территории определяется возможностью поступления ртути и других тяжелых металлов вместе с растительным кормом в организм сельскохозяйственных животных. Среднее содержание ртути в травянистой растительности участка ШОУ превысило предельно допустимый уровень содержания ртути в кормах сельскохозяйственных животных (Киприянов, 1997) в 16,5 раза.

Высокие значения концентрации ртути отмечены для видов, произрастающих в пределах ее аномалий в почвенном воздухе. Максимальные содержания ртути в золе растений установлены (в г/т) у скерды кровельной (*Crepis tectorum L.*) – 12,85; зверобоя утонченного (*Hypericum attenuatum C.*) – 21,95 и лапчатки гусиной (*Potentilla anserina L.*) – 23,17.

Для растений нами рассчитаны биогеохимические показатели (табл. 9), на основе которых составлены ряды биологического поглощения металлов. Соотношения биогеохимических показателей элементов сведены в три группы (Радамская и др., 2003). К первой группе, когда $Ax_1 > Ax_2$, отнесены золото, ртуть, серебро, платина и рутений. Значительная разница между данными коэффициентами наблюдается при исследовании ландшафтов, где местный фон элементов значительно превышает их кларк в литосфере, что в природных условиях типично для рудных районов. В этом случае действует правило: чем выше содержание элемента в породе при прочих равных условиях, тем меньше относительная величина поглощаемой части. Поэтому в условиях с резко повышенным фоном ряда элементов расчета одного лишь РПК (Ax_2) недостаточно для выявления полной картины их биогенной миграции.

Растения избирательно концентрируют названные элементы. Так, если по отношению к золоту и платине они проявляют толерантность, то в отношении серебра – среднюю и слабую способность накопления, переходящего в группу захвата. Серебро токсично для растений, и при высоких его концентрациях в почве у растений наступает порог поглощения из-за нарушения проницаемости клеточных мембран (Кабата-Пендиас и др., 1989). Для золота превышение Ax_2 над Ax_1 составляет четыре порядка, для ртути – три, для серебра – два.

Биогеохимические показатели поглощения благородных металлов видами растений, произрастающими на отвалах ШОУ Соловьевского прииска

Растение	КБП (Ах ₁) РПК (Ах ₂)	Расчитанный коэффициент										БХА ₁						
		Au	Ag	Pt	Pd	Os	Ru	Au	Ag	Pt	Pd		Os	Ru				
Скерда кровельная (<i>Strepis testorum</i> L.)	Ах ₁	290,70	1,86	—	8,40	5,60	84,00	965,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,090	0,030	—	5,60	34,38	11,67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Крапива – (<i>Urtica angustifolia</i>)	Ах ₁	113,95	0,74	—	—	1,94	86,00	484,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,035	0,015	—	—	12,13	11,94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	Ах ₁	2700,0	6,00	54,0	—	1,52	256,00	3236,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,84	0,12	0,79	—	9,50	35,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ива (<i>Salix</i> sp.)	Ах ₁	72,09	0,69	—	3,40	1,28	120,00	518,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,022	0,014	—	2,27	8,00	16,67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum vulgare</i> L.)	Ах ₁	709,30	1,71	42,0	3,40	1,34	138,00	1095,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,22	0,035	0,62	2,27	8,38	19,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Лебеда раскидистая (<i>Atriplex patulum</i> L.)	Ах ₁	25,58	0,20	—	2,80	1,24	88,00	253,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,008	0,0041	—	1,87	7,75	12,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.)	Ах ₁	30,23	0,46	—	—	4,00	36,00	354,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,0094	0,0094	—	—	25,00	5,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Жабрей (<i>Galeopsis</i> sp.)	Ах ₁	67,44	1,43	—	3,90	1,48	28,00	339,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,021	0,029	—	2,60	9,25	3,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Звербой уточненный (<i>Hypericum atelatum</i> C.)	Ах ₁	306,98	3,57	—	—	4,00	352,00	1348,86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,096	0,074	—	—	25,00	48,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Лапчатка гусиная (<i>Potentilla anserina</i> L.)	Ах ₁	1023,26	2,71	—	4,10	1,58	64,00	1354,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,32	0,056	—	2,73	9,88	8,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Польнь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	Ах ₁	176,74	2,00	—	2,00	1,42	94,00	511,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ах ₂	0,055	0,041	—	1,33	8,88	13,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Золото в отличие от серебра – биологически доступный элемент. Из всей группы благородных металлов оно обладает максимальными биофильными свойствами (табл. 10).

По Ах₁ установлены виды растений-концентраторов золота: клевер ползучий и лапчатка гусиная; концентраторов рутения – клевер ползучий, звербой утонченный и одуванчик обыкновенный.

По полученным нами данным, золото и ртуть (10 n-100 n), а также платина (10 n) и рутений (10 n) являются элементами интенсивного биологического накопления, а серебро (0,0 n) – элементом слабого захвата (табл. 10).

Таблица 10

Сравнительная оценка рядов биологического поглощения благородных металлов, составленных по Ах₁ и Ах₂

Показатель	Ряды биологического поглощения								
	1000-n	100-n	10-n	n	0.n	0.0n		0.00n	
Бх (Ср/Кл)	Au	Au	Ag			Pd	Ru	Os	Pt
КБП (Ах ₁)	Au ₂	Au ₅	Au ₄	Ag ₇	Ag ₄				
		Pt ₁	Pt ₁₀	Pd ₁₁					
		Ru ₃	Ru ₉	Os ₁₁					
		Hg ₃	Hg ₃	Hg ₅					
РПК (Ах ₂)				Pd ₆	Au ₄		Au ₆		Au ₁
				Os ₅	Os ₆	Ag ₁	Ag ₉		Ag ₁
				Ru ₁₀	Ru ₁	Pt ₂			
						Hg ₃	Hg ₃		Hg ₅

Примечание. Бх (Ср/Кл) – степень биофильности элемента (отношение кларка элемента в растениях к его кларку в литосфере); Au₂ – индекс элемента с указанием количества видов растений, принадлежащих к данной группе биологического поглощения: (100-n-1000-n) – элементы энергичного накопления, (10-n) – элементы сильного накопления, (n) – элементы среднего накопления, (0,0n-0,n) – элементы слабого накопления и среднего захвата.

Ко второй группе элементов (Ах₂>Ах₁) отнесен осмий. Превышение величины Ах₂ над Ах₁ свидетельствует, что концентрация осмия в отвалах ШОУ ниже средней концентрации в земной коре. РПК (Ах₂) для всех видов опробованных растений по величине превосходит Ах₁. Максимальный РПК (Ах₂) осмия отмечен у скерды кровельной – 35. В рядах биологического поглощения, составленных по Ах₂, осмий относится к элементам среднего накопления.

Третью группу элементов, когда коэффициенты Ax_2 и Ax_1 имеют один порядок значений, составил палладий. Его содержания в техногенных отложениях близки к кларку. Растворимые формы палладия легко поглощаются растениями, отличаются слабой токсичностью и проявляют мобильность в круговороте органических веществ (Кабата-Пендиас и др., 1989). По полученным данным, Pd (n) – элемент среднего биологического накопления.

Количественным выражением общей способности отдельных видов к концентрации благородных металлов служит показатель БХА. Анализ БХА видов растений, произрастающих на техногенных отвалах, рассчитанный на основе Ax_1 , показал, что наибольшая биологическая активность в отношении благородных металлов характерна для клевера ползучего (*Trifolium repens* L.); повышенная – для лапчатки гусиной (*Potentilla anserina* L.), одуванчика обыкновенного (*Taraxacum vulgare* L.); средняя – для зверобоя утонченного (*Hypericum attenuatum* Choisy) и скерды кровельной (*Crepis tectorum* L.). Пониженную активность к поглощению благородных металлов проявляют хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) и жабрей (*Galeopsis* sp.).

Изложенный в четвертой главе материал позволяет утверждать, что: **скопления ртути, минералов благородных и цветных металлов на территориях традиционной россыпной золотодобычи образуют техногенные биогеохимические аномалии, которые обнаруживаются биогеохимическим методом. По этим аномалиям можно выявлять промышленные техногенные скопления благородных и других металлов. Ряды биогеохимического поглощения металлов включают следующие группы: золото, платина, рутений и ртуть – элементы интенсивного накопления; осмий и палладий – среднего накопления; серебро – слабого накопления, переходящего в группу захвата. Концентраторами золота являются виды травянистых растений – клевер ползучий и лапчатка гусиная; рутения – зверобой утонченный и клевер ползучий; ртути – скерда кровельная и зверобой утонченный.**

ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО И БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ПОИСКОВ ЗОЛОТО- И ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩЕГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (на примере Джалта-Ульдегитского узла)

Для выявления и прогнозной оценки золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения в Джалта-Ульдегитском узле Верхнего Приамурья нами разработан и применен новый литохимический способ поисков (Пат. 2247413. – Рос. Федерация. – 3 с.). Результаты его применения сопоставлены с результатами, полученными при использовании стандартного литохимического и биогеохимического методов поисков по вторичным ореолам рассеяния.

5.1. Джалта-Ульдегитский рудно-россыпной узел

Джалта-Ульдегитский узел находится в центре Дамбукинского золотоносного и никеленосного района Становой никеленосной провинции (Степанов, Мельников, 2010). Району отвечает Дамбукинский блок Становой складчато-глыбовой области (рис. 1, № 21). На северо-западе узла располагается Джалонский гранитный массив. Основу узла составляют архейские метаморфиты, представленные биотитовыми, графит-биотитовыми и гранат-биотитовыми гнейсами с подчиненными прослоями гранат-биотитовых, гранат-графит-биотитовых двуслюдяных гнейсов, кварцитов и амфиболитов. Продукты ультраметаморфизма (гнейсовидные граниты и гранито-гнейсы) слагают восточную часть узла. Здесь сосредоточено большинство известных платиноидно-медно-никелевых рудопроявлений, рудопроявлений и россыпей золота. Для Джалта-Ульдегитского узла характерна общая аномальная россыпная золотоносность (Мельников и др., 2006).

5.1.1. Ландшафтные условия

Джалта-Ульдегитский рудно-россыпной узел расположен на границе Верхнезейской равнины и северных отрогов хребта Тукурингра, охватывает бассейны рек Джалта и Ульдегит и со-

ставляет 150 км². Рельеф площади холмистый, с относительными превышениями над долинами 100-300 м и абсолютными отметками высот 470-737 м. Долины рек проработаны русловыми процессами, выражены в рельефе и имеют корытообразную форму. Выявлены аккумулятивные и эрозионно-денудационные формы рельефа.

В ландшафтно-геохимическом отношении площадь узла представлена таксонами таежно-мерзлотного ландшафта. Водоразделы сглажены, заняты элювиальными, местами – автономными элементарными ландшафтами (открытые площади). Элювиальные ландшафты приурочены к хорошо дренированным участкам пологих вершин сопок, развиты на подзолистых сильно кислых почвах под лиственничными изреженными лесами с мохово-лишайниковым надпочвенным покровом и под зарослями стланика на элювиальных щебнистых почвообразующих породах. Автономные ландшафты кислого глеевого класса развиты на мерзлотно-таежных почвах под лиственничными лесами с мохово-лишайниковым или багульниково-моховым надпочвенным покровом, в условиях затрудненного внутрипочвенного дренажа. На глубине 75-120 см таких участков присутствует мерзлотный горизонт.

Склоны достигают 30-35°, в среднем – около 20°. Они заняты трансэлювиальными ландшафтами кислого класса (полузакрытые площади). Данный род ландшафтов развит на буротаежных типичных (в условиях хорошего дренажа на каменисто-суглинстом элювио-делювии под светлохвойными травянисто-кустарниковыми лиственничными лесами) и буротаежных глеевых почвах (приурочены к слабодренированным поверхностям, покрытым мохово-багульниковыми лиственничниками, обусловлены наличием надмерзлотной верховодки). Нижние части склонов и днища долин заболочены, представлены супераквальным ландшафтом кислого глеевого класса на болотных торфяных почвах (закрытые площади).

Современные рыхлые образования представлены элювиально-делювиальными отложениями суглинисто- и супесчано-дресвяного состава, мощностью 0,5-4 м (иногда до 10 м). В пределах площади развиты коры выветривания с лимонитом, ярозитом,

графитом и зоны окисления сульфидных руд. Мощность их достигает 100 м (Степанов и др., 2005).

Растительность района находится в подзоне средней тайги, с лесами преимущественно восточно-сибирского типа, с преобладанием лиственницы даурской (*Larix daurica*) и березы плосколистной (*Betula platyphylla*), реже распространены сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), осина (*Populus sp.*) и ель сибирская (*Picea sibirica*). Подлесок образуют кустарники ивы (*Salix sp.*), березы (*Betula sp.*), ольхи (*Alnus sp.*), рододендрона даурского (*Rhododendron dahurica*), можжевельника даурского (*Juniperus dahurica*). На водоразделах повсеместно встречаются заросли стланика (*Pinus pumila*).

5.1.2. Геологическое строение и состав руд

Дамбукинскому никеленосному и золотоносному району, в состав которого входит Джалта-Ульдегитский узел, соответствует треугольной формы блок раннеархейских метаморфических образований (рис. 16). С юга-запада он ограничен Джелтулакским разломом, с севера – Пригилюйским, отделяющим его от позднеархейских комплексов Алдано-Становой складчато-глыбовой области (Мельников и др., 2012).

Метаморфические образования блока представлены раннеархейскими породами дамбукинской серии, состоящей из нижней – дубакитской (*AR₁db*) и средней – камрайской (*AR₁km*) свит. Породы дубакитской свиты характеризуются основным составом. Свита сложена пироксеновыми, амфиболовыми, двупироксен-амфиболовыми, диопсид-амфиболовыми кристаллическими сланцами, реже – амфиболитами и гнейсами. Мощность свиты составляет 1100-1200 м.

Камрайская свита отличается разнообразием состава пород. Она представлена гранатовыми, биотит-гранатовыми, графит-содержащими гнейсами, пироксен- и амфиболсодержащими гнейсами и кристаллосланцами, а также прослоями и линзами магнетитовых кварцитов. Абсолютный возраст биотит-гиперстеновых гнейсов камрайской свиты, определенный U-Pb методом по цирконам, составляет 3085±162 млн. лет (Петрук, 1992ф). Мощность свиты – 2100 м.

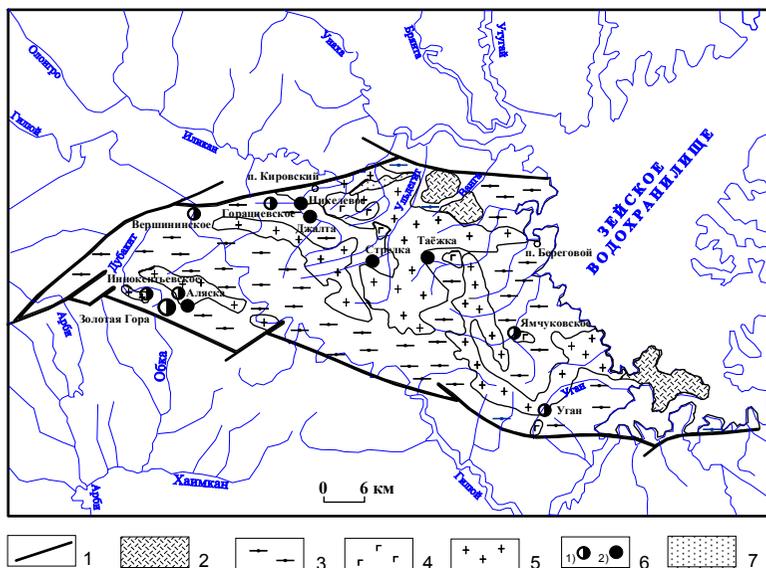


Рис. 16. Геологическое строение Дамбукинского рудно-россыпного района (Степанов и др., 2006):

1 – разломы; 2 – вулканы раннего мела; 3 – Дамбукинская серия: переслаивание амфиболитов и амфиболовых гнейсов с биотит-графит-гранатовыми гнейсами; 4 – габбро, пироксениты, кортландиты, перидотиты; 5 – граниты, гнейсо-граниты; 6 – месторождения и рудопроявления: 1) золота, 2) меди, никеля; 7 – пески, галечники темнинской свиты неоген-раннечетвертичного возраста.

Позднеархейские метаморфические образования представлены иликанской серией. Она расчленена на две свиты: нижнюю – джигдалинскую (AR_2, dz) и верхнюю – талгинскую (AR_2, tl).

Джигдалинская свита развита незначительно в юго-западной части площади. Она сложена роговообманковыми, роговообманково-биотитовыми, биотит-роговообманковыми гнейсами с прослоями амфиболитов. Талгинская свита распространена на левобережье верхний ручья Горациевский и р. Джалты, протягивается серией выходов от среднего течения ручья Радостного на западе до левобережья р. Малая Джалта.

Талгинская свита сложена биотитовыми, двуслюдяными, роговообманково-биотитовыми гнейсами. Характерно присутствие граната, дистена, силлиманита. Мощность свиты – до 1400 м.

Разрывные нарушения имеют северо-западную и субширотную ориентировку. Северо-западные нарушения делят территорию на ряд опущенных и поднятых блоков. Разломы второй группы являются сдвигами с горизонтальным перемещением блоков до 1-2 км. Интрузивные образования занимают более 30% площади территории. Они представлены гранитоидами архейского (станового) и раннепротерозойского (тукурингского) комплексов.

Интрузии станового комплекса представлены гнейсовидными диоритами, гранодиоритами и ультраметаморфогенными слюдяными гранитами. Гранитоиды тукурингского комплекса – гранитами, граносиенитами, гранодиоритами, слагающими массивы и мелкие тела.

Среди пород камрайской свиты широко развиты мелкие интрузии, дайки и силлы никеленосного джалтинского интрузивного комплекса: пироксениты, горнблендиты, кортландиты, габбро и габбронориты раннемелового возраста. Мощность интрузий достигает десятков метров, протяженность – от сотен метров до 1-2 км.

Породы джалтинского комплекса постоянно содержат сингенетичную вкрапленность сульфидов: пирротина, халькопирита и пентландита. Иногда сульфиды образуют эпигенетические секущие прожилки и жилы, нередко выходящие за пределы интрузий во вмещающие гнейсы и кристаллосланцы. Полоса развития этих интрузий хорошо выражена в магнитном поле серией локальных положительных аномалий поля ΔT .

Сульфидизированные разности интрузивных пород с высокими содержаниями меди и никеля, а также платиноидов и золота встречаются главным образом в центральной и северо-западной частях узла. Они расположены в пределах полосы северо-западного простирания, сложенной графитсодержащими гнейсами камрайской свиты. Гнейсы прорваны мелкими интрузиями и дайками пород основного и ультраосновного состава. Ширина полосы около 3 км, протяженность – 10 км. Эта полоса, площадью около 30 км², по-видимому, отвечает рудному полю с золото- и платиносодержащим медно-никелевым оруденением.

На рис. 17 представлены формы и размеры выделения сульфидов во вкрапленных рудах (Степанов, Мельников, 2010).

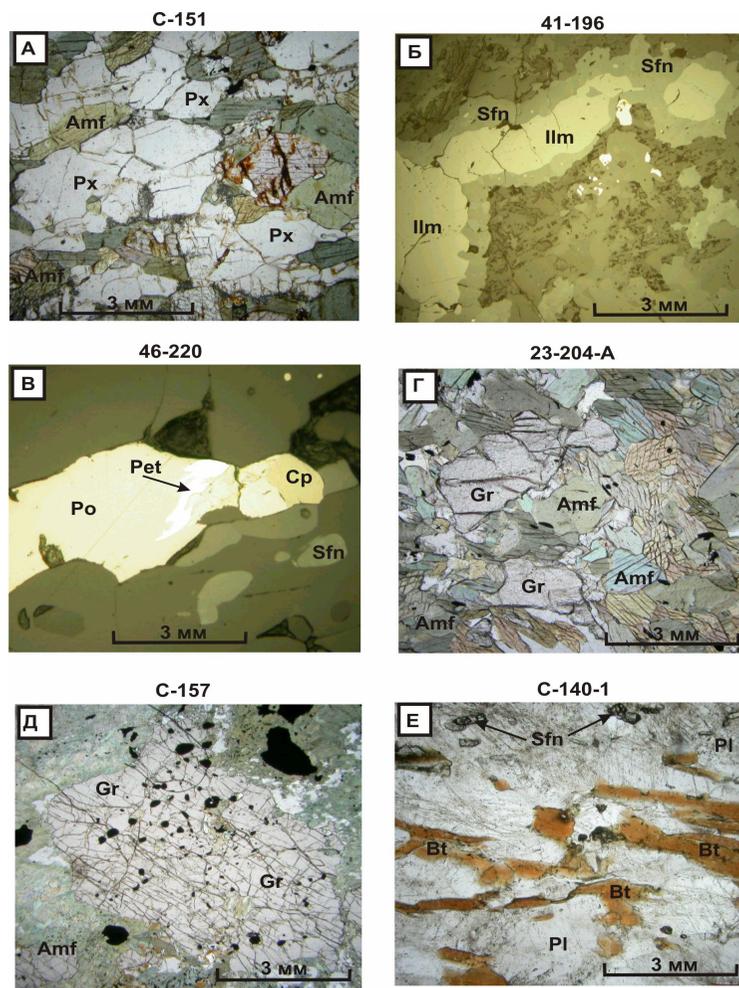


Рис. 17. Взаимоотношения минералов во вкрапленных рудах: слабо амфиболитизированный пироксенит (А); каемочная структура замещения ильменита сфеном (Б); пламенивидные выделения пентландита в пирротине (В); гипидиоморфнозернистая структура апопироксенитового гранат-амфиболового метасоматита (Г); ксенолит катаклазированного граната ранней генерации с вкрапленностью сульфидных минералов среди амфиболитизированного пироксенита (Д); биотит полевошпатовый гнейс с вкрапленностью сульфидов (Е).

Рудные минералы: Ср – халькопирит, Ilm – ильменит, Pet – петландин, Po – пирротин, Sfn – сфен (титанит).

Пироксениты, кортландиты и горнблендиты катаклазированы, лимонитизированы и содержат прожилково-вкрапленную, реже гнездовую сульфидную минерализацию (рис. 17б). По данным спектрального анализа, содержание меди в них достигает 0,3%, никеля – до 0,3%, кобальта – до 0,1%. Прожилково-вкрапленная минерализация имеет размеры сульфидов от 0,1 до 2 мм (около 10%), гнездовая – до 1-2 см (около 20%). Из сульфидов преобладают халькопирит и пирротин, марказит замещает пирротин и образует колломорфные структуры.

В гранатосодержащих разностях пород отмечается гнездово-вкрапленная сульфидная минерализация (рис. 17г). Породы обогащены сульфидами в виде прожилково-вкрапленных и линзовидных скоплений. Содержание Cu достигает 0,5%, Ni – 0,5%. Сульфидные минералы (иногда до 10-15%) представлены халькопиритом (до 35-40%), пирротином (до 40%), пиритом (до 10%) и марказитом (до 1-2%). Вкрапленники пирротина и халькопирита изометричной формы и не превышают 1-3 мм в поперечнике. Марказит замещает пирротин и пространственно тяготеет к кварцевым прожилкам. Отмечены редкие вкрапленники пентландита. Пентландит присутствует практически в каждом зерне пирротина, образуя пламенивидные включения (распад твердого раствора) или изометричные (обычно не более 0,04 мм) вкрапленники до 0,10 мм (рис. 17в). По микротрещинам в пентландите развивается виоларит. Иногда пентландит наблюдается в пирротине в сростках с халькопиритом. По микротрещинам и границам вкрапленников пирротин замещается марказитом.

По данным спектрального анализа содержание меди и никеля в штучных пробах, отобранных из пироксенитов, кортландитов, габбро и амфиболитов с вкрапленностью пирротина, халькопирита и пентландита, составляет 0,5-1%, редко больше. Высокие содержания указанных металлов (до 4-7% Ni и 1-4% Cu) отмечаются в пробах, отобранных из брекчиевых, прожилковых и массивных пирротин-халькопиритовых руд.

По соотношению меди и никеля выделены два типа руд: медно-никелевые и медные (табл. 11).

Таблица 11

Содержания элементов в медно-никелевых и медных рудах

№ пробы	Характеристика руд	Спектральный анализ, г/т (%)											ААА, г/т			
		Mo	Ag	Cu	Zn	As	Ni	Co	Pt	Pd	Rh	Au				
Медно-никелевые руды																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
99725	Массивная пирротин-халькопиритовая руда	10	1	0.3%	0.2%	-	4%	>0.1%	8,3	2,5	9,2	0,41				
99831	Пироксениты с вкрапленностью халькопирита и пентландита	7	7	>>1%	700	100	3%	300	-	-	-	-				
99717	Массивная пирротин-пентландит-халькопиритовая руда	7	70	>1%	0.3%	>1%	7%	>1%	-	-	-	-				
99786	Пироксенит с прожилками и вкрапленностью пентландита	5	3	>1%	300	300	>1%	0.1%	-	-	-	-				

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
99782	Массивная пирротин-халькопирит-пентландитовая руда	5	20	>1%	0.3%	0.3%	2%	>1%	1,38	4,52	0,31	0,23		
A-350	Пироксениты с вкрапленностью халькопирита и пирротина	-	3	1%	30	-	0.2%	300	-	-	-	-		
A-422	Пироксенит с вкрапленностью халькопирита	-	1	1%	50	-	0.5%	300	-	-	-	-		
A-428	Пироксениты с прожилками и вкрапленностью халькопирита и пирротина	10	4	>1%	-	-	0.3%	300	0,02	0,01	-	0,03		
A-430	Кортландиты с вкрапленностью халькопирита	1	-	0.2%	70	-	0.7%	700	-	-	-	-		
Медные руды														
99717	Халькопирит массивный	10	100	>>1%	0.1%	>5%	500	300	0,07	0,01	-	0,03		

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A-241	Пироксениды с вкрапленностью пирротина и мо- либденита	100	0,5	0,7%	50	50	100	50	-	-	-	-
A-361	Кортландиты с вкрапленностью пирротина	200	2	>1%	200	-	300	200	-	-	-	-
A-260	Пироксениды с вкрапленностью пирротина	100	3	0,7%	100	-	300	500	0,0 7	0,08	-	0,06
A-768	Кортландиты с вкрапленностью пирротина	200	3	0,7%	100	-	500	500	0,0 6	0,05	-	0,04
A-469	Пироксениды с вкрапленностью халькопиритов	3	1	1%	100	-	0,1%	300	-	-	-	-

По данным атомно-абсорбционного анализа, содержание (г/т): Pt – 0,05-8,3; Pd – 0,003-4,52; Rh – до 9,2; Ag – до 100 г/т; Au – до 0,41 г/т.

Минералогический анализ показал, что основным рудным минералом в штуфных пробах является пирротин, повсеместно в небольших количествах отмечаются халькопирит и пентландит. Вместе с ними содержатся знаки галенита, сфалерита, арсенопирита, самородного золота, сперрилита и самородной платины.

Халькопирит отмечается в пирротине в виде сильно вытянутых прямоугольников с ровными четкими границами. В поляризованном свете в нем наблюдаются полисинтетические двойники и блоковое строение, свидетельствующие о наложенных деформациях.

Сфалерит и *галенит* выделяются в халькопирите в форме изометричных зерен.

Сфалерит содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита. Характер выделения минералов свидетельствует о достаточно быстром «остывании» твердого раствора, образовавшегося при температурах 550-470° С. Более поздняя ассоциация сульфидов представлена метасоматическими пирротином-2 и пиритом.

Пирит образует метакристаллы с признаками внутренней зональности, часто замещает нерудные минералы по кристаллографическим направлениям.

Золото в медно-никелевых рудах присутствует в самородном виде. Оно обнаружено как в шлихах протолочных проб, так и в аншлифах руд. Золото тонкое и дисперсное. Размеры его колеблются от 0,10 до 0,05 мм и менее. Оно имеет форму шаровидных, дендритовидных, октаэдрических и кубических кристаллов (рис. 18).

Проба золота, по данным атомно-абсорбционного анализа, меняется от 276 (кюстелит), 428 и 546 (электрум) до 978 (высокопробное золото) промилле.

На рис. 19а отчетливо выделяется одномодальный, асимметричный максимум в интервале пробы 900-950 единиц. Макси-

мум полого наклонен в сторону уменьшения пробы золота и резко – в сторону ее увеличения (Степанов и др., 2006).

Из минералов платиновой группы в сульфидно-вкрапленных рудах определены *сперриллит* и *самородная платина* (Степанов, Мельников, 2010).

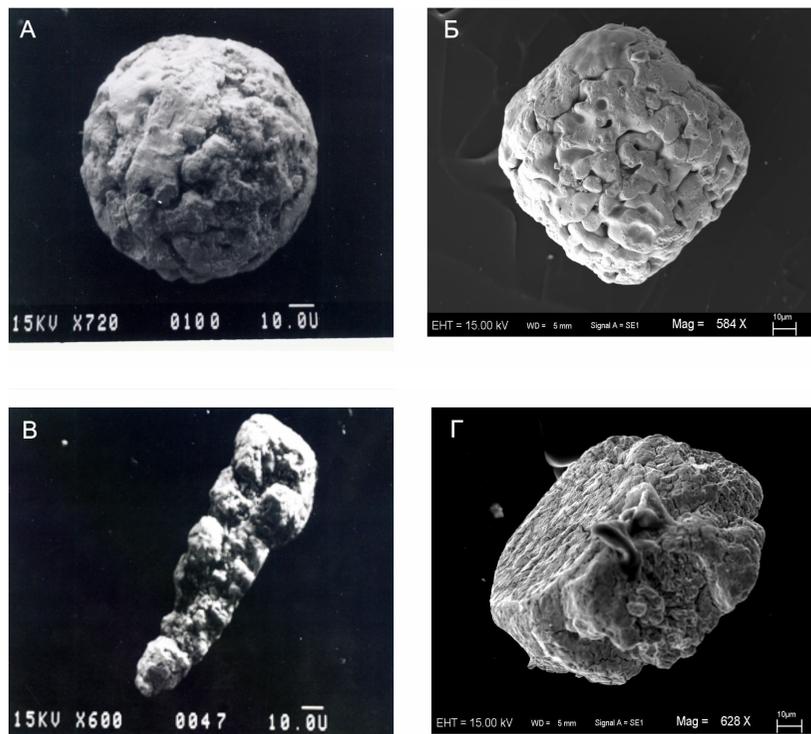


Рис. 18. Морфология кристаллов рудного золота из прото-лочек штучных проб вкрапленных сульфидных руд: шаровидная (округлая) с бороздами пластической деформации на ямчатой поверхности (А); кубооктаэдр с ямчатой структурой поверхности и реликтами контуров пузырьков газовой-жидких включений (Б); дендровидная со ступенчатыми контурами сростков кристаллов (В); кубическая форма с ячеистой структурой поверхности (Г).

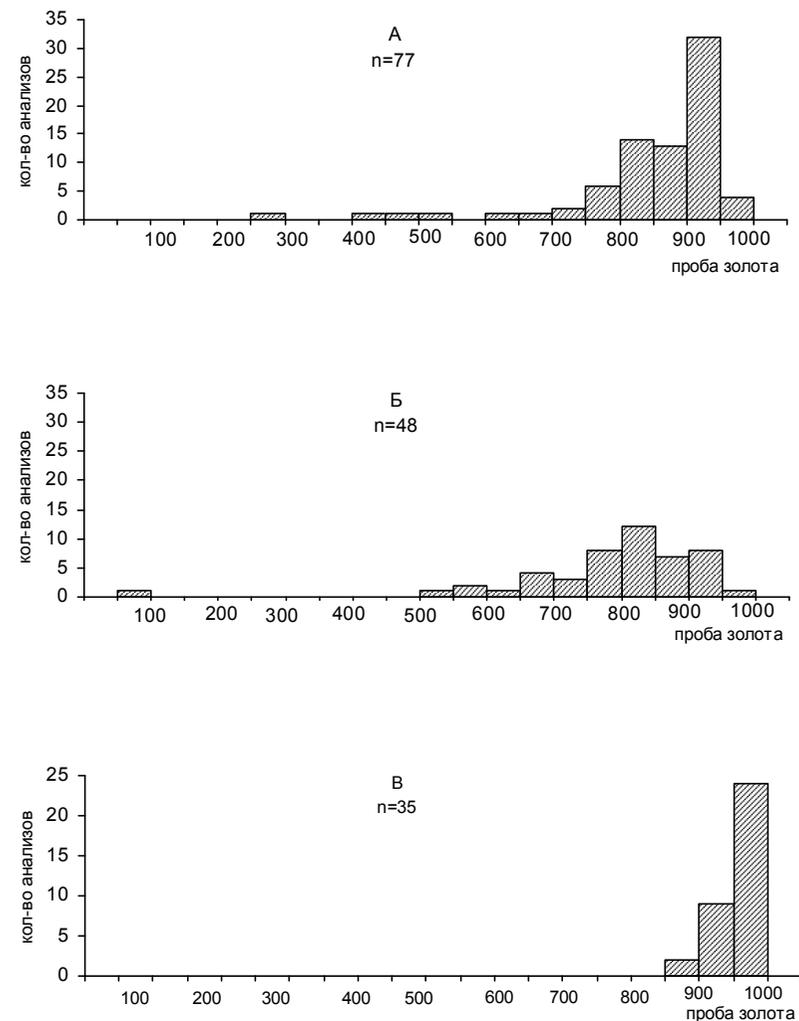


Рис. 19. Гистограммы пробы золота в промилле: рудного (А), делювиального (Б), россыпного (В) Джалта-Ульдегитского рудно-россыпного узла (Степанов и др., 2006).

5.1.3. Геохимическая характеристика

По результатам проведенных литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50000 на площади 100 км² (участок «Никелевый») в пределах Джалта-Ульдегитского узла выявлены контрастные вторичные ореолы Cu, Ni, Co, Au, Ag, Pb, Hg, As, Sb, Sn, Mo. Их краткая характеристика приводится ниже по (Стриха и др., 2007ф).

Вторичные ореолы рассеяния *меди* установлены в западной части площади. Аномалии меди первой градации (0,003-0,01%) имеют изометричную форму при площади 2-7 км² (рис. 20а). Аномалии с уровнем содержаний более 0,01% вытянуты в субширотном направлении. Максимальные содержания меди 0,5-1% установлены на правом берегу ручья Горациевский.

Вторичные ореолы рассеяния *никеля* установлены в северо-западной части площади. Аномалии никеля с уровнем содержаний более 0,01%, как правило, изометричны, иногда слегка вытянуты в субширотном направлении. Их размеры не превышают 3 км² (рис. 20б). Наиболее контрастный ореол никеля (0,01-0,1%) локализован на правом берегу ручья Горациевский. Он имеет линейную форму с ориентировкой в субширотном направлении и охватывает площадь 1,5 км².

Вторичные ореолы рассеяния *кобальта* ассоциируют с аномалиями никеля, однако охватывают меньшую площадь (рис. 20в). Наиболее контрастные ореолы Co (до 0,1%) установлены на право- и левобережье ручья Горациевский.

Золото в изоконцентрате 0,005 г/т образует обширные аномалии на всей рассматриваемой площади. Они имеют изометричную форму и характеризуются значительными площадными параметрами – более 10 км² (рис. 20г). Контрастные ореолы золота (более 0,03 г/т), как правило, имеют линейную форму при субширотном или северо-восточном простирании. Большая часть их приурочена к зонам разрывных нарушений.

Ореолы *серебра* имеют наибольшее распространение в пределах изученной территории (рис. 21д). Они локализуются преимущественно в центральной и западной частях площади.

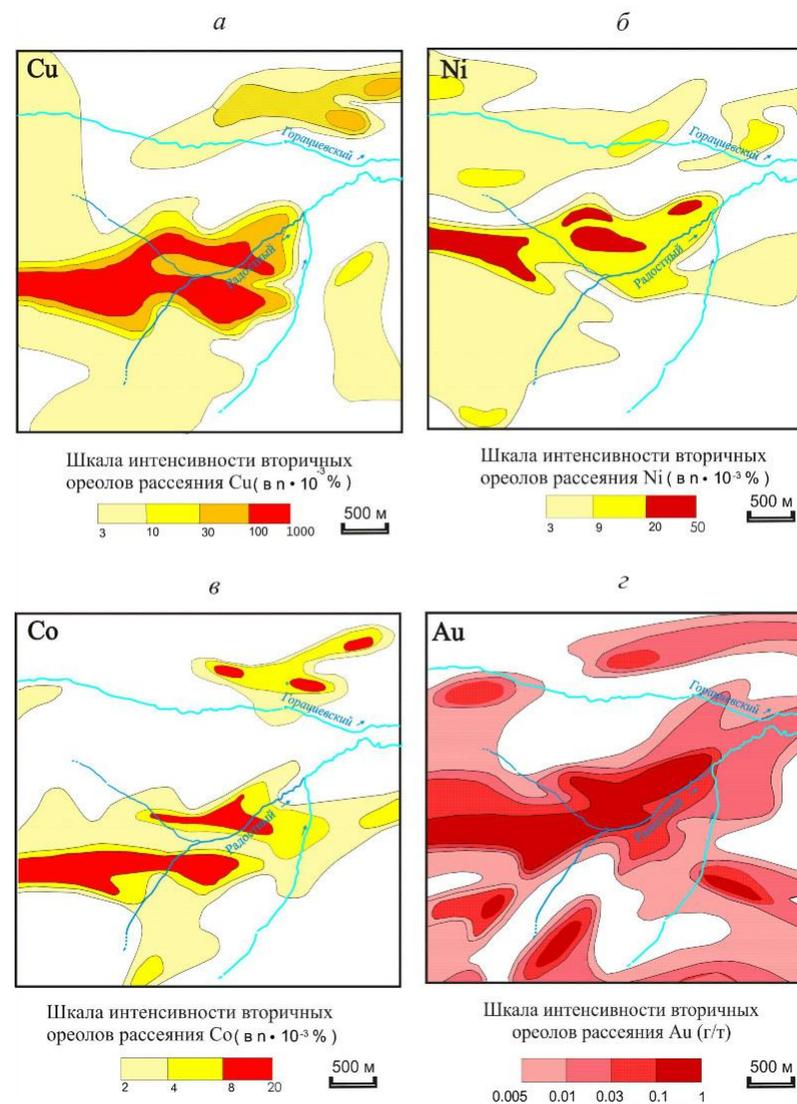


Рис. 20. Вторичные ореолы рассеяния Cu, Ni, Co, Au участка «Никелевый» Джалта-Ульдегитского узла.

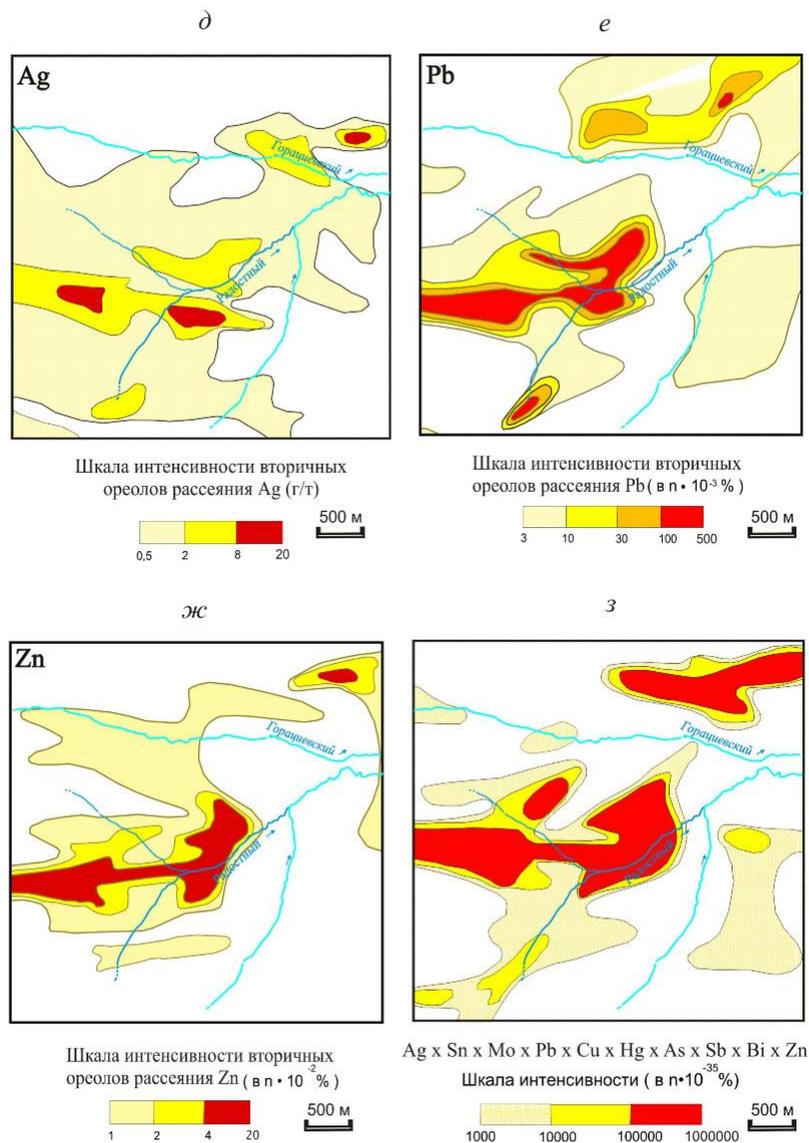


Рис. 21. Вторичные ореолы рассеяния Ag, Pb, Zn, Mo участка «Никелевый» Джалта-Ульдегитского узла.

Аномалии первой градации (0,5-2 г/т) имеют изометричную форму на площади до 10 км². Наиболее интенсивные аномалии серебра с содержанием более 2 г/т расположены в северо-западной части площади. У них линейная форма при субширотной ориентировке, площадь менее 1 км². Ореолы в западной части площади не оконтурены. Максимальные содержания серебра 10-20 г/т установлены на право- и левобережье ручья Горациевский.

Свинец образует вторичные ореолы рассеяния, преимущественно в северо-западной части площади. Аномалии с уровнем содержания 0,003-0,01% имеют изометричную форму и характеризуются достаточно большими площадными параметрами – 4-6 км² (рис. 21е). Наиболее контрастный ореол свинца (0,01-1%) локализован в междуречье ручьев Горациевский – Радостный. Он имеет линейную форму при субширотной ориентировке и охватывает площадь 1,5 км². Пространственно аномалии Pb ассоциируют с ореолами Ag, Cu и Zn.

Вторичные ореолы рассеяния цинка также тяготеют к северо-западной части площади. Они располагаются на правобережье и левобережье ручья Горациевский. Слабоинтенсивные аномалии (0,01-0,02%) изометричны при площади 2-3 км² (рис. 21ж). Максимальные содержания цинка 0,2% установлены на правобережье ручья. Им соответствуют резко повышенные содержания Ag и Pb. К наиболее интенсивным вторичным ореолам серебра, свинца и меди приурочены аномалии Мо (рис. 21з) и отдельные аномальные точки висмута, мышьяка, сурьмы, ртути.

В пределах участка «Никелевый» были выделены три металлоносных зоны, которые контролируются системами тектонических нарушений субширотного и северо-восточного простираний, вмещающими небольшие интрузии и дайки пироксенит-кортландитового состава с сульфидным медно-никелевым оруденением. Наиболее интенсивные вторичные ореолы зафиксированы в западной части площади и приурочены к месту пересечения первой и второй зон. По совокупности признаков здесь локализовано аномальное геохимическое поле (АГП) ранга рудного месторождения с прогнозируемым никелевым и, предположительно, золотосеребряным типами оруденения. Типоморфными элементами первого являются Ni, Co, Cu, второго – Hg, Sb, Ag, Pb, Cu, Sn, As, Zn, Bi.

5.2. Применение минералого-геохимического метода поисков

5.2.1. Минералого-геохимические ореолы

Материалом для исследования минерального состава рыхлых отложений послужили 358 минералого-геохимических проб (класс +1-3 мм), выделенных из исходных укрупненных литохимических (металлометрических) проб путем просеивания на сите с размером ячейки 1 мм. Изучались элювиальные отложения водоразделов, делювиальные отложения склонов средней крутизны в пределах элювиального и трансэлювиального ландшафтов, а также элювиально-делювиальные отложения пологих придолинных, местами заболоченных склонов в элювиально-аккумулятивных и супераккумулятивных ландшафтах.

Применение данной методики для оценки рудоносности территории в совокупности с площадными литохимическими поисками масштаба 1:50000 позволила выявить ореолы рудной медно-никелевой минерализации, связанной с раннемеловыми интрузиями пироксенит-перидотит-горнблендитового состава. Выявлены три минералого-геохимических ореола рассеяния сульфидных рудных минералов – «Южный», «Северный» и «Восточный» (рис. 22).

Ореол «Южный» установлен на северо-западном фланге узла, на водоразделе ручьев Камрай и Радостный. Он пространственно отвечает первой металлоносной зоне. Центральная часть и восточный фланг ореола расположены на склонах долины верхнего течения ручья Радостного. Ореол зафиксирован 24 аномальными точками по 6 профилям через 500 м. Его протяженность – более 2,5 км, при ширине от 400 до 600 м. Поскольку ореол не закрыт с западного фланга, следует ожидать его продолжения на запад еще на 0,5-1 км. Пробы с сульфидной составляющей располагаются в пределах субширотной полосы распространения серии рудоносных даек и небольших интрузий джалтинского комплекса. Минеральный состав ореола представлен: пиритом (20%), пирротинном в сростках с пентландитом (12%), галенитом (8%), халькопиритом (7%), прочими минералами и обломками пород (53%).

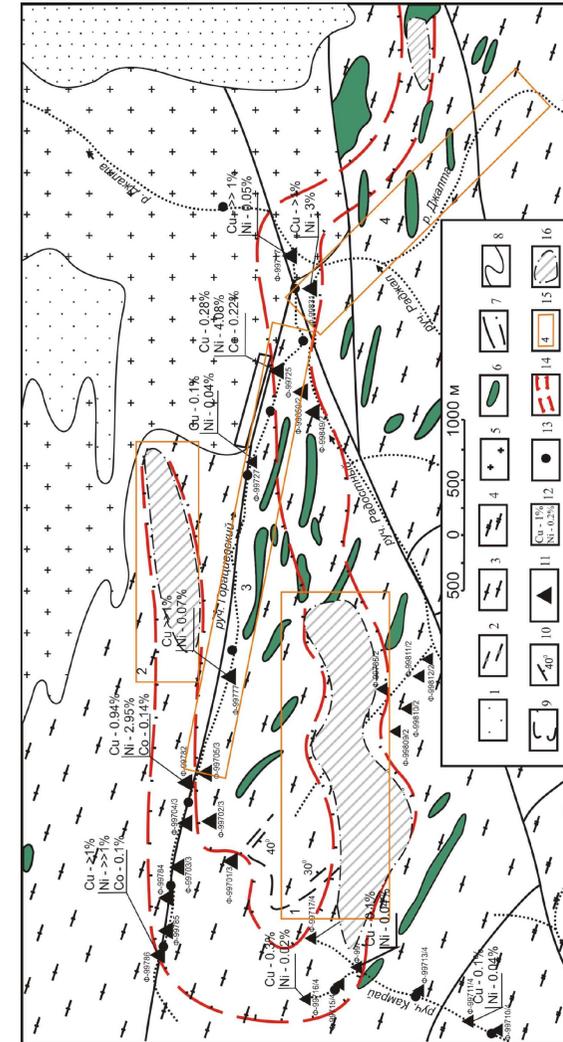


Рис. 22. Геологическое строение и рудоносность участка Никелевый (по Степанову, Мельникову, 2010 с дополнениями автора):

- 1 – галенитки и пески сазанковской свиты; 2-4 – гнейсы и кристаллосланцы раннего архея; 2 – ультрабазитская свита, 3 – камрайская свита, 4 – дубакитская свита; 5 – граниты тукурингского комплекса; 6 – дайки и мелкие интрузии габбро, пироксенитов, перидотитов, корландитов; 7 – разломы; 8 – геологические границы; 9 – маркирующие горизонты железистых кварцитов; 10 – элементы залегания пород; 11 – места отбора штуфных проб и их номера; 12 – содержание в штуфных пробах Cu, Ni, Co (в %); 13 – шлиховые пробы с платиноидами; 14 – границы предполагаемой рудоносной зоны; 15 – контуры проектируемых участков поисковых работ м-ба 1: 10000 (1 – «Ожный»; 2 – «Северный»); 16 – ореолы сульфидной «сыпучки» в делювии.

Ореол «Северный» располагается северо-восточнее первого, на левобережье ручья Горациевского, между его притоками – ручьями Дорожный и Вадим. Западная часть ореола «Северный» находится в пределах супераквального ландшафта (мари), восточная – элювиально-аккумулятивного. Участок полого наклонен к ручью Горациевскому (4-5°).

Протяженность ореола составляет около 2 км, ширина – 300 м. Он соответствует третьей металлоносной зоне субширотной ориентировки. Ореол включает 8 аномальных точек. Минеральный состав минералого-геохимических проб представлен: лимонитом (47%), пиритом (14%), пирротином в сростках с пентландитом (8%), арсенопиритом (8%), халькопиритом (4%), галенитом (3%), другими минералами и обломками пород (16%). Минералого-геохимические пробы ореола «Северный» отличаются значительным весом рудных минералов крупного класса (+1-3 мм) – максимальный до 50-70 г (проба 9-131), а также преобладанием лимонита и присутствием арсенопирита. Лимонит развивается, в основном, по пирротину (проба 7-127), в условиях чрезмерного увлажнения элювиально-делювиальных отложений в пределах мари (рис. 23).

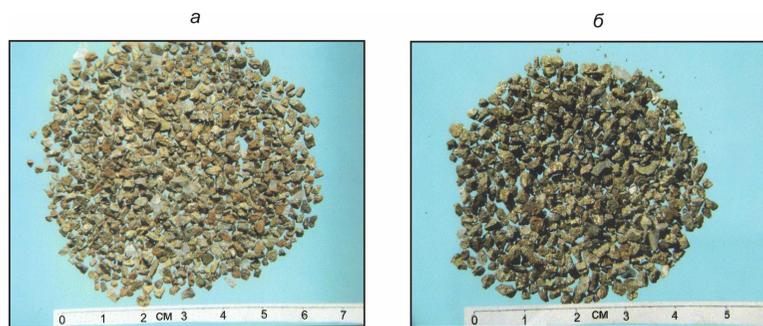


Рис. 23. Минеральная фракция класса (-3+1) мм проб 7-127 (а) и 9-131 (б), ореол «Северный».

Ореол «Восточный» локализован в центральной части площади и включает 4 аномальные точки. Его параметры составляют соответственно 500×200 м. Он соответствует второй металлоносной зоне северо-восточного простирания, по геоморфологическому положению находится в истоках ручья Благодат-

ного, в седловине водораздела между вершинами сопки с абсолютными высотами 595 и 697 м. В ореоле отмечается следующий минеральный состав: пирротин (9%), пирит (12%), халькопирит (30%). Породообразующие минералы во фракции +1-3 мм составляют 49%. Содержания элементов-примесей в монофракциях рудных минералов из ореолов представлены в приложениях 1-4.

По итогам литохимических и минералого-геохимических поисков масштаба 1:50000, комплексной обработки и интерпретации данных, составления геохимических карт с привлечением геологических материалов и результатам дешифрирования космоснимков установлены границы предполагаемой рудоносной зоны. В их пределах с участием автора были намечены два перспективных участка – «Северный» и «Южный» (рис. 22) для постановки детальных геохимических поисков масштаба 1:10000 (Стриха и др., 2007ф).

5.2.2. Участок «Южный»

Участок площадью 3 км² расположен в северо-западной части узла, в бассейне ручья Радостного. По результатам геохимических поисков масштаба 1:50 000 он выделен как наиболее перспективный для поисков медно-никелевого оруденения.

Геологическое строение участка. В пределах участка развиты метаморфические образования камрайской свиты раннего архея. Среди пород преобладают биотитовые, амфибол-биотитовые, нередко графитсодержащие гнейсы с прослоями и линзами амфиболитов, гранатовых амфиболитов и железистых кварцитов. Породы метаморфизованы в амфиболитовой фации. Мощность пластов амфиболитов достигает первых десятков метров, железистых кварцитов – первых метров. Амфиболиты и гранатовые амфиболиты нередко содержат вкрапленность сульфидов, среди которых преобладает пирротин, реже встречаются халькопирит и пентландит.

Метаморфические образования прорваны многочисленными небольшими интрузиями гранитов позднеархейского возраста, силлами и дайками джалтинского комплекса раннемелового возраста. Позднеархейские интрузии представлены гнейсовидными гранитами, которые слагают небольшие интрузивные тела

изометричной формы вблизи юго-западной окраины участка. К раннему мелу отнесены силлы, дайки, небольшие интрузии пироксенитов, корландитов и горнблендитов, а также дайки габбро. Силлы и дайки имеют небольшую протяженность и мощность. Ориентированы они преимущественно в субширотном направлении и являются субпослойными (Стриха и др., 2007ф). На контакте интрузий с гнейсами нередко располагаются линзы и небольшие тела магнетитовых руд. Им соответствуют положительные магнитные аномалии поля ΔT до 64000 нТл.

Вторичные литохимические ореолы рассеяния. По результатам литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния на площади выявлены контрастные вторичные ореолы золота, серебра, меди, никеля, кобальта, титана и цинка. Ниже приводится их краткая характеристика.

Золото образует в пределах площади высококонтрастные ореолы с содержаниями 0,01-1,0 г/т. Большая их часть локализована в западной части площади, на правом берегу ручья Радостного. Они имеют выраженную линейную форму и преимущественно субширотное простирание. Протяженность отдельных аномалий – более 1000 м, при ширине 100-300 м. На левобережье ручья также выделено несколько линейно-прерывистых аномалий северо-восточного простирания интенсивностью до 0,6 г/т. Большая часть выделенных ореолов золота либо моноэлементна, либо им сопутствуют слабоинтенсивные аномалии Ag, Cu, Zn.

Серебро. Ореолы распространены по всей изучаемой площади. Аномалии серебра (0,5-1,0 г/т) субширотного простирания имеют размеры до 1000×500 м. Наиболее интенсивные аномалии (2-5 г/т) локализованы на юго-западном и северо-восточном флангах участка.

Медь образует ореолы интенсивностью 0,005-0,050% преимущественно в центральной и западной частях площади. Они вытянуты в северо-восточном или субширотном направлении.

Никель. Геохимическое поле Ni дифференцировано. Аномалии (0,007-0,015%) вытянуты в субширотном направлении. Максимальные содержания Ni во вторичных ореолах рассеяния достигают 0,1-0,2%. Такие ореолы расположены на западном и

северо-восточном флангах участка. Контрастные аномалии Ni пространственно ассоциируют с ореолами Cu и Co.

Кобальт образует несколько небольших по площади аномалий интенсивностью 0,007-0,05%. Они сосредоточены в западной и восточной частях площади.

Титан. Аномалии Ti характеризуются высокой интенсивностью (содержания 1% и более) при относительно больших площадных параметрах. Аномалии расположены в пределах развития метаморфических образований камрайской свиты и свидетельствуют об обогащении этих пород титаном.

Прогнозные ресурсы категории P₃ по участку «Южный», рассчитанные по вторичным ореолам рассеяния, составили: Au – 14,1 тонн; Ag – 45,3 тонн; Pt – 14,8 тонн; Pd – 6,940 тонн; Ni – 87 тыс. тонн; Ti – 2500 тыс. тонн (Стриха и др., 2007ф).

Минералого-геохимические ореолы. На участке «Южный» проведены литохимические поиски по сети 100×20 м. В результате отбора и обработки металлометрических проб по разработанной методике (Степанов, Юсупов, 2005) было получено и проанализировано 127 минералого-геохимических проб.

Минералогический анализ проб выявил серию полиминеральных ореолов, состоящих из пирротина, халькопирита, пентландита, галенита, арсенопирита и самородного золота. Основным ореолообразующим минералом служит пирротин. Пространственно ореолы объединены в три основные группы: центральную, западную и восточную, линейно вытянутые в субширотном направлении (рис. 24).

Западная группа ореолов расположена на водоразделе ручьев Камрай и Радостного, в пределах элювиального ландшафта. Протяженность ореолов – от 400 до 1000 м. С западного фланга группа ореолов выходит за границы участка «Южный». В минеральном составе проб преобладают пирротин и халькопирит.

Центральная группа ореолов контролируется крупным разломом в долине ручья Радостного. В средней и южной части площади ореолы имеют протяженность 100-200 м, в северной – 700 м, ширину – 20-40 м.

В составе ореолов – пирротин с примесью халькопирита, галенита и пентландита.

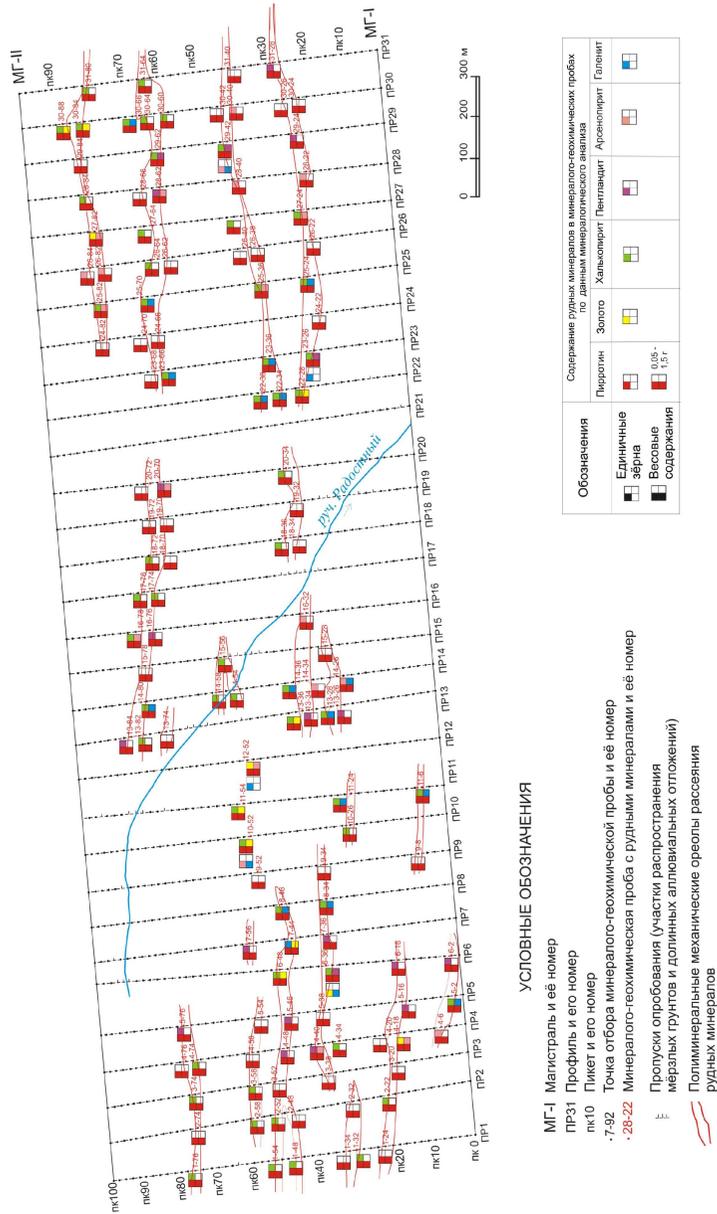


Рис. 24. Схема результатов минералого-геохимического опробования участка «Южный» масштаба 1:10000.

Восточная группа ореолов сформирована в пределах трансэлювиального ландшафта, отличается четкой линейной локализацией, простирается перпендикулярно склону сопки. В ее составе 4 узких (20-40 м) ореола, параллельных друг другу, протяженностью 700-800 м. В составе проб, помимо пирротина и халькопирита, доминирует арсенопирит. Расстояние между ореолами составляет 160-180 м. С восточного фланга группа ореолов выходит за границу участка «Южный».

5.2.3. Участок «Северный»

Участок «Северный» расположен на левобережье ручья Горациевского, площадь его составляет 0,8 км². Он также выделен по данным геохимических поисков масштаба 1:50000.

Геологическое строение участка. В геолого-структурном отношении участок располагается непосредственно к югу от Джалонского массива субщелочных лейкогранитов позднестанового комплекса. В его пределах развиты метаморфические образования дубакитской свиты раннего архея, представленные биотит-амфиболовыми кристаллическими сланцами и гнейсами с прослоями амфиболитов, реже – кварцитов и железистых кварцитов. Контакт метаморфического комплекса с гранитами Джалонского массива тектонический и проходит по разлому субширотного простирания. Приконтактные изменения в гнейсах и кристаллических сланцах не отмечаются. На юго-западном фланге участка среди метаморфитов располагается небольшая интрузия гнейсовидных гранитов позднего архея. Кроме того, породы дубакитской свиты прорваны небольшими субширотными ориентированными интрузиями пироксенитов и кортландитов раннего мела, расположенными в центральной и южной частях территории. Серия мелких даек габбро раннего мела закартирована в центральной части площади. Они имеют северо-западное простирание и являются секущими по отношению к вмещающим гнейсам и кристаллическим сланцам.

В пироксенитах, кортландитах и габбро повсеместно отмечается тонкая вкрапленность пирротина, реже – халькопирита и пентландита. С поверхности эти породы часто лимонитизированы.

ны. В делювии нередко встречаются небольшие обломки водянисто-серого, метаморфогенного кварца без признаков рудной минерализации.

Вторичные литохимические ореолы рассеяния. На участке «Северный» проведены литохимические поиски по сети 100×20 м. В результате литохимических поисков выявлены контрастные вторичные ореолы золота, серебра, никеля, кобальта, титана, менее интенсивные – цинка, свинца и меди. Ниже приводится их краткая характеристика.

Золото образует вторичные ореолы рассеяния на всей площади участка. Большая их часть характеризуется содержаниями 0,01–0,02 г/т. Более контрастные аномалии 0,03–0,60 г/т имеют линейную форму при субширотном простирании. Их размеры не превышают 200×400 м.

Серебро. Геохимическое поле серебра резко дифференцировано. Западный фланг участка характеризуется содержаниями 0,5–1,0 г/т, на фоне которых выделяются локальные и контрастные ореолы 1,5–15,0 г/т. Восточная часть площади располагается в субфоновом поле значений серебра (0,1–0,2 г/т). Высококонтрастные аномалии серебра пространственно ассоциируют с ореолами золота и кобальта различной интенсивности.

Никель. Аномалии Ni (0,003–0,10%) в пределах участка распространены значительно. Большая их часть имеет прерывисто-линейную форму, образуя три полосы субширотного направления, протягивающихся через весь участок (рис. 25). Линейный характер ореолов подчеркивается аномалиями второй-третьей градации, с содержаниями 0,01–0,10%. Ореолы никеля сопровождаются небольшими редкими аномалиями Cu (0,005–0,01%), Zn (0,01%), Pb (0,005–0,02%).

Кобальт. Аномалии кобальта интенсивностью 0,003–0,02% локализованы на западном фланге участка.

Титан в пределах участка образует несколько аномалий интенсивностью 0,7–1%. Они имеют линейную форму, протягиваясь в субширотном направлении более чем на 800 м, при ширине не более 200–300 м. Пространственно ореолы титана ассоциируют с аномалиями никеля.

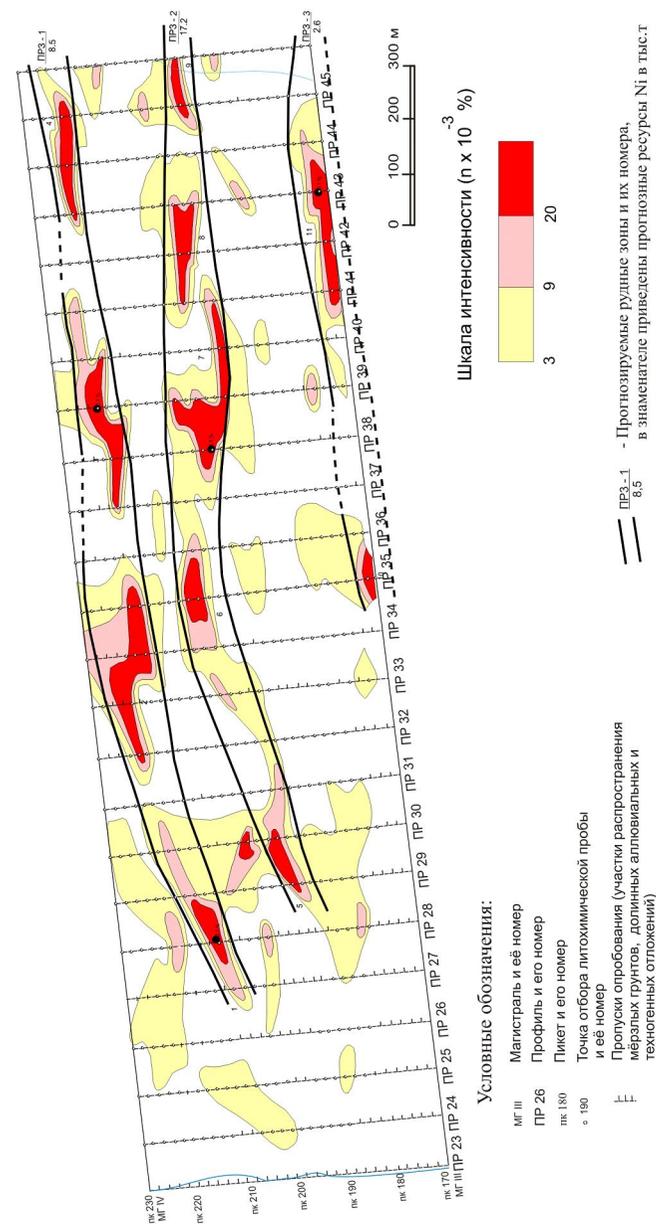


Рис. 25. Схема вторичных ореолов рассеяния никеля с элементами прогнозно-геохимической оценки участка «Северный» масштаба 1:10 000.

Анализ пространственного расположения вторичных ореолов рассеяния позволил спрогнозировать в пределах участка несколько типов минерализации: медно-никелевую, титано-магнетитовую и золотосеребряную.

Контрастные аномалии Au, Ag, Ti в пределах участка имеют достаточно локальное распространение. Комплексные аномалии Ni, Cu, Pb, Zn группируются в три полосы субширотного простирания – прогнозируемые рудные зоны (ПРЗ). Ширина зон – от 50 до 120 м, протяженность достигает 2 км. Расстояние между ПРЗ-1 и ПРЗ-2 меняется от 50 до 200 м, между ПРЗ-2 и ПРЗ-3 – 150-250 м. На западном фланге участка они выклиниваются, на восточном выходят за рамку участка. Прогнозируемым рудным зонам отвечает серия небольших вытянутых в субширотном направлении тел пироксенитов, кортландитов, а также амфиболитов.

По геохимическим данным в пределах участка проведена оценка прогнозных ресурсов (P₃): Ni – 28,3 тыс.т; Ti – 375 тыс. тонн; Au – 0,8 т; Ag – 58 т (Стриха и др., 2007ф).

Минералого-геохимические ореолы. На участке «Северный» из исходного материала литохимических проб, отобранных с глубины 0,3-0,6 м по сети 100×20 м, по запатентованной методике (Пат. 2247413 – Рос. Федерация. – 3 с.) было выделено и проанализировано 85 минералого-геохимических проб.

Во фракции (-1 +3 мм) этих проб обнаружены пирротин, халькопирит, пентландит, галенит, самородное золото. Основными наиболее распространенными рудными минералами являются пирротин с вростками пентландита (весовые содержания) и самородное золото (знаковые содержания). Халькопирит и галенит имеют более локальное распространение в контуре полиминеральных ореолов. Ореолы вытянуты в субширотном направлении и конформны трем ПРЗ, выделенным по вторичным литохимическим ореолам никеля в результате стандартной литохимической съемки (рис. 26).

Первой и второй прогнозируемым рудоносным зонам (рис. 26) соответствуют совмещенные механические ореолы пирротина с пентландитом, арсенопирита, халькопирита, галенита и самородного золота.

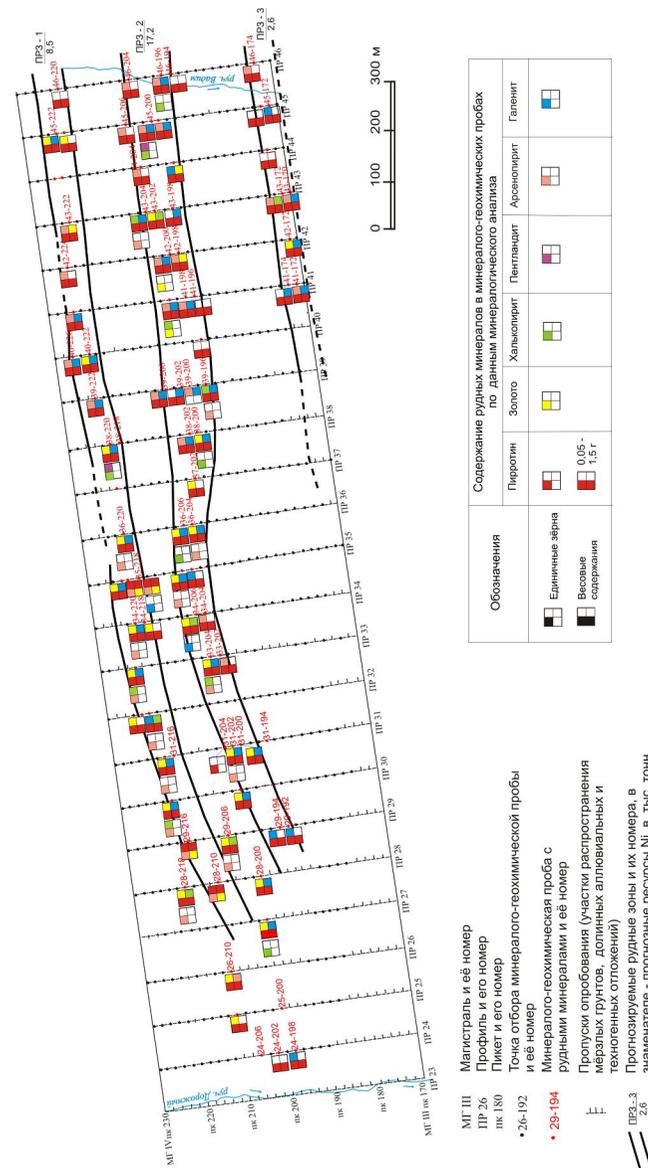


Рис. 26. Схема результатов минералого-геохимического опробования участка «Северный» масштаба 1:10 000.

Протяженность ореолов составляет 2200 м, ширина – 20-80 м. Расстояние между зонами колеблется от 80 до 200 м. На западном фланге ореолы сближаются и выклиниваются, на восточном – выходят за пределы участка. Третьей рудоносной зоне (ПРЗ-3) соответствуют ореол, аналогичный по минеральному составу первым двум. Протяженность ореола составляет 500 м, ширина – 20-50 м. С западного фланга ореол ограничен техногенными отработками: отвалами ямных отработок россыпного золота, вскрышей и водоотводной канавой полигона ручья Горациевского.

В результате минералогического анализа электромагнитной и магнитной фракций класса (+1-3 мм) из состава глинистых комочков выделены частицы золота. Золото свободное, частицы его тонкие и пылевидные (0,05-0,10 мм и менее), реже встречаются кристаллы золота весьма мелкого (0,10-0,25 мм) и мелкого (0,25-0,50 мм) размера. Форма тонкого и пылевидного золота в основном пластинчатая. Пластинки удлиненные, округлые, изометричные и ксеноморфные. Реже отмечаются комковатые зерна и округлые шарообразные кристаллы. Среди зерен мелкого размера отмечаются изометричные пластины с шероховатой поверхностью, а также пластины в форме ласточкиного хвоста с бугристой поверхностью и зазубренными краями (рис. 27).

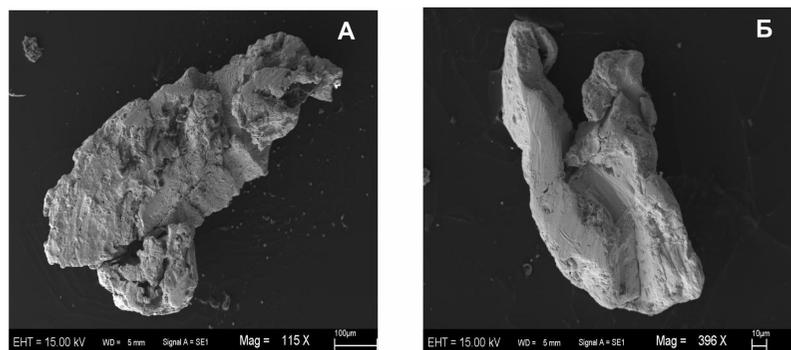


Рис. 27. Морфология делювиального золота участка «Северный»: комковато-ксеноморфная в форме птицы (А); комковато-ксеноморфная в форме ласточкиного хвоста (Б).

Встречаются ксеноморфные пластинки в форме звезд, состоящих из сростков округлых шариковидных кристаллов, а также комковато-ксеноморфные зерна и кубические кристаллы с закругленными гранями и ребрами. Мелкие зерна отмечаются редко. Они представлены пластинками с шероховатой поверхностью и зазубренными краями, сростками кубических кристаллов и комковатыми зернами (Степанов и др., 2006).

Наблюдается большой разброс пробы самородного золота от кюстелита (86‰) до высокопробного (945‰). Не резкий, но достаточно отчетливый максимум наблюдается в интервале 800-850 ‰. Как и для рудного золота, он плавно понижается в сторону уменьшения пробы золота до 600-650‰ (электрум) и гораздо резче – в сторону увеличения пробы золота (рис. 19, Б).

Поведение золота в делювиальных отложениях изучено недостаточно. При дезинтеграции и окислении сульфидных медно-никелевых руд в делювии в раствор переходят, по-видимому, не только основные компоненты медно-никелевых руд – железо, медь и никель, но и содержащееся в них примесное серебро, концентрация которого составляет 1-2 г/т, что на порядок выше, чем содержание в тех же рудах золота. Минералом-носителем серебра в медно-никелевых рудах является халькопирит. Содержание серебра в нем составляет более 100 г/т (приложение 1). Минералом-носителем серебра в полиметаллических сростках является галенит с содержанием Ag до 1% (приложение 2). Переход серебра в раствор подтверждается и наличием солевых ореолов серебра в делювии, фиксируемых литохимическим опробованием. Возможно, что частицы высвобождаемого из руд самородного золота аккумулировали часть серебра, и за счет этого происходило уменьшение их пробы. Явление уменьшения пробы золота в делювиальных отложениях при разрушении и окислении сульфидных руд требует дальнейшего изучения.

На участке «Северный» нами также были проведены специальные опытно-методические работы. Дополнительно по простиранию трех ПРЗ (восточный фланг) с шагом 20 м из горизонта «В» почвы отобраны 124 пробы рыхлого материала весом 350-400 г, в 81 из них содержалась фракция рудных минералов весом 1-5 г.

Для определения гранулометрического состава с распределением рудных минералов по классам крупности литохимическую пробу последовательно рассеивали на ситах с размером ячейки 3, 2 и 1 мм, из которых выделили магнитную и электромагнитную фракции.

В результате ситового анализа минералого-геохимических проб установлено, что класс минус 1 мм, который входит в литохимическую пробу, содержит 32% веса магнитной и электромагнитной фракции рудных минералов. Гранулометрический класс (+1-2 мм) материала исходных проб, не включаемый в литохимическую пробу по инструкции (Инструкция..., 1983), содержит в среднем 50% веса фракций рудных минералов, класс (+2-3 мм) – 16%, класс (+3 мм) – 2% (рис. 28).

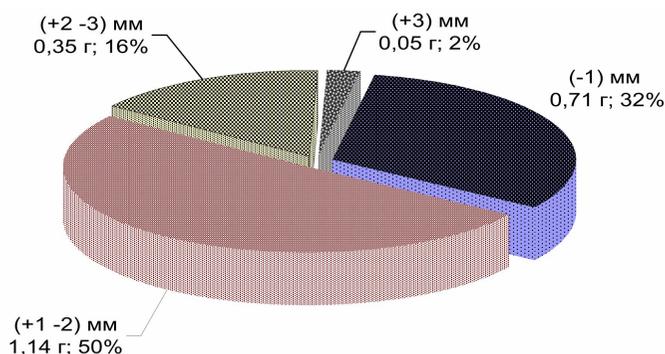


Рис. 28. Распределение магнитной и электромагнитной фракций рудных минералов по гранулометрическим классам в минералого-геохимических пробах участка «Северный».

Отсюда следует практически важный вывод: от класса размерности материала, включаемого в литохимическую пробу (<1 мм) или (<2 мм), будет зависеть контрастность вторичных ореолов рассеяния металлов и, соответственно, результат оценки прогнозного ресурсного потенциала.

Прослежено изменение содержания тяжелых минералов с глубиной в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях участка «Северный» по трем шурфам, пройденным в эпицентрах аномалий трех зон по профилю 43, пикеты 172, 202, 222. Содержание рудных минералов было прослежено до глубины 0,6-1,8 м

рыхлых отложений. В верхнем гумусовом горизонте почвы рудные минералы не обнаружены. С глубиной их весовые содержания постепенно возрастают, наибольшие (1,5 г) отмечены на глубине 0,4-0,6 м.

Однако, по данным литохимической съемки 1:50000 масштаба на площади, соответствующей участку «Северный» (ореол «Северный»), с глубины 0,2-0,3 м были отобраны 7 аномальных литохимических проб, в исходном материале (класс +1-3 мм) которых содержание обломков рудных минералов достигало 50 г и более (рис. 23). Литохимической съемкой масштаба 1:10000 подобные пробы выявлены не были. По-видимому, они были взяты непосредственно над разрушенной частью рудных тел.

Таким образом, в результате применения нового литохимического способа поисков в сочетании с литохимическим методом по вторичным ореолам рассеяния масштабов 1:50000 и 1:10000 с наземными геофизическими (магниторазведка, электроразведка) и горными работами на участке «Никелевый» подтверждена металлогеническая специализация площади на медно-никелевое оруденение и оценена ее перспективность.

Состав минеральных комплексных ореолов в элювиально-делювиальных отложениях позволил прогнозировать формационную принадлежность оруденения – сульфидное медно-никелевое (пирротин, пентландит, халькопирит, золото, сперрилит). Доказано, что источником аномальных содержаний основных элементов – Ni, Cu, Pb, Au и других – во вторичных литохимических ореолах служат обломки первичных рудных минералов: пирротина с пентландитом, халькопирита, галенита, золота, высвобождающихся в результате дезинтеграции вкрапленных медно-никелевых руд в интрузиях пироксенит-перидотит-горнблендитового состава.

В ландшафтных условиях территории Джалта-Ульдегистского узла при малой мощности чехла элювиально-делювиальных отложений на поверхности проявляются механическая и незначительная солевая составляющие литохимического вторичного ореола рассеяния. Литохимический метод поисков по вторичным ореолам рассеяния в комплексе с разработанной нами методикой способны обеспечить получение более полной геологической и поисковой информации.

Следует ожидать проявления и биогеохимической составляющей литохимических ореолов. Для установления ее параметров и определения поискового значения на участке «Северный» было проведено опытно-методическое биогеохимическое опробование.

5.3. Результаты биогеохимических исследований

Методика работ. В 2004 г. на участке «Северный» было проведено опытно-методическое биогеохимическое опробование по профилям 25 и 35. По профилю 35 силами ООО «Верхнеамурской горной компании» в 2008 г. пройдена и опробована канава № 5 (между пикетами 214 – 224). В коренных породах была вскрыта вкрапленная медно-никелевая минерализация. Над рудными интервалами распространены ранее выявленные вторичные литохимические ореолы никеля, меди и минералого-геохимические ореолы рассеяния рудных минералов – пирротина, галенита, арсенопирита и самородного золота.

На этом 200-метровом отрезке расстояние между точками отбора проб растительности составляло 20 м, в соответствии с расположением пикетов литохимического опробования. Биогеохимические пробы отбирались вдоль профиля методом пунктира. В качестве биообъектов опробования использовались кора лиственницы даурской (*Larix daurica*), ветки с листьями кустарников березы (*Betula exilis*, *B. ovalifolia*) и багульника болотного (*Ledum palustre*). Пробы золы анализировались атомно-абсорбционным методом на золото, серебро, микроэлементы, почвы – спектральным приближенно-количественным (на Cu, Ni, Co, Zn, Cr) и спектрохимическим количественным (на Au, Ag) анализами.

Статистические параметры распределения содержаний элементов, а также значения растительно-почвенного коэффициента (РПК) и кларков концентрации (КК) приведены в табл. 12.

Результаты исследований. Данные табл. 12 позволяют провести сравнительный количественный и качественный анализ интенсивности поглощения растениями рудных элементов. Параметрами поглощения служат величина РПК, соотношение ККб и ККл.

Таблица 12

Распределение химических элементов в почве и золе растений участка «Северный»

Элемент	Объект	N	Содержание, г/г			Статистические параметры					РПК	КК (н,б)
			X _{min}	X _{max}	X _{ср.з.}	S	A	Э	v%			
Au	Почва (В)	46	0,0005	0,030	0,012±0,003	0,01	0,59	-0,49	77	-	2,79	
	Береза кустарниковая	4	0,058	0,200	0,114±0,063	0,06	1,09	0,50	55	9,50	57,00	
	Багульник болотный	6	0,050	0,290	0,143±0,077	0,09	0,68	-0,76	66	11,92	71,30	
Ag	Почва (В)	45	0,20	2,00	0,94±0,16	0,54	0,94	0,01	57	-	13,43	
	Береза кустарниковая	11	0,14	0,78	0,35±0,11	0,18	1,28	2,72	51	0,37	5,83	
	Багульник болотный	28	0,07	0,88	0,17±0,04	0,10	1,17	0,18	59	0,18	2,83	
Ni	Лиственница даурская	6	0,41	1,72	1,12±0,43	0,53	-0,46	-1,63	47	1,19	18,67	
	Почва (В)	50	10,00	80,00	36,2±3,33	11,76	1,11	3,18	33	-	0,62	
	Береза кустарниковая	10	40,00	68,00	53,0±4,48	7,07	0,46	2,62	13	1,46	1,06	
Co	Багульник болотный	27	34,00	70,00	48,37±3,97	10,32	0,75	-0,52	21	1,34	0,97	
	Лиственница даурская	6	38,00	160,00	102,7±46,13	56,51	-0,01	-2,93	55	2,84	2,05	
	Почва (В)	50	2,00	15,00	7,4±0,81	2,87	0,77	1,24	41	-	0,41	
Cu	Береза кустарниковая	11	26,00	58,00	32,73±5,45	9,05	2,55	4,38	28	4,42	2,38	
	Багульник болотный	28	20,00	72,00	37,2±4,29	11,36	0,82	1,81	31	5,03	2,48	
	Лиственница даурская	6	32,00	100,00	60,7±22,74	27,85	0,41	-1,41	46	8,20	4,05	
Zn	Почва (В)	50	20,00	60,00	42,0±3,48	12,29	-0,19	-1,13	28	-	0,89	
	Береза кустарниковая	11	150,00	230,00	179,1±16,04	26,63	0,27	-0,19	15	4,26	0,90	
	Багульник болотный	28	120,00	180,00	156,8±4,10	10,79	-0,76	0,56	7	3,73	0,78	
Cr	Лиственница даурская	6	140,00	250,00	213,3±40,87	50,07	-0,17	-0,55	24	5,08	1,07	
	Почва (В)	45	20,00	100,00	38,4±7,19	24,12	1,37	1,44	63	-	0,46	
	Береза кустарниковая	10	3530,00	5230,00	4325,0±296,0	467,74	0,22	0,82	11	112,63	4,81	
Cr	Багульник болотный	27	730,00	2400,00	1118,0±160,6	417,15	1,94	3,46	37	29,12	1,24	
	Лиственница даурская	5	790,00	1510,00	1114,0±246,6	276,19	0,29	-1,19	25	29,01	1,24	
	Почва (В)	50	10,00	100,00	53,0±5,67	20,05	0,17	-0,01	38	-	0,66	
Cr	Береза кустарниковая	11	38,00	74,00	57,64±6,66	11,06	-0,62	-0,04	19	1,09	0,23	
	Багульник болотный	28	34,00	110,00	69,4±6,40	16,94	0,30	0,07	24	1,32	0,28	
	Лиственница даурская	6	100,00	200,00	158,3±30,30	37,10	-0,76	-0,46	23	2,99	0,63	

Величина РПК *золота* близка к 10 у березы кустарниковой и багульника болотного, что свойственно, по А.Л. Ковалевскому (1974), поглощению высокобарьерными видами растений золота из сульфидов и железистых его форм. РПК *серебра* у лиственницы близок к единице. Серебро характеризуется невысокими фоновыми содержаниями в почве ($0,94 \pm 0,16$ г/т) и пропорциональным накоплением в коре лиственницы даурской ($1,12 \pm 0,43$ г/т), которая является безбарьерным биообъектом. Источником поступления серебра в корнеобитаемую зону служат главным образом серебряносодержащие минералы – галенит и халькопирит (приложения 1-2).

Значения РПК *никеля, кобальта, меди* – в пределах от 1 до 10, максимальные величины наблюдались в лиственнице – 2,8; 8,2; 5,1 соответственно. Содержания этих элементов в почве, как и серебра, близки к фоновым. Никель, медь и кобальт являются примесью в пирротине в составе сростков с пентландитом и халькопиритом (приложения 1 и 3).

РПК *цинка* выделяется среди других элементов большой интенсивностью поглощения растениями – 30-100. Наибольшая величина РПК установлена у березы кустарниковой. Максимальная концентрация цинка – в единичной пробе (35 – 214) коры лиственницы даурской – 8,5%. Минералом-носителем цинка является главным образом сфалерит, неустойчивый в зоне окисления. В меньшей степени минералами-носителями цинка выступают галенит и халькопирит (приложение 1-2). Цинк обладает значительной подвижностью и высокой доступностью для корневого питания растений (биофильностью).

Установлено, что низкие величины РПК (0,п и п), а значит, и малоконтрастные биогеохимические ореолы рассеяния элементов определяются наличием на участке «Северный» ореолов первичных минералов пирротина, галенита, халькопирита, арсенипирита, самородного золота в корнеобитаемой зоне рыхлых отложений, включая почвенные горизонты. Значения РПК элементов находятся в зависимости от растворимости рудных минералов и размера их зерен, влияющих на доступность рудных элементов для поглощения их растениями. Этот факт доказан в работах А.Л. Ковалевского (1974, 1975).

Кларки концентрации рассчитаны как отношение концентрации элемента ($x_{\text{сред}}$) на литохимической ($KK_{\text{л}}$) и биогеохимической ($KK_{\text{б}}$) аномалии к его кларковому содержанию в соответствующей среде. Установлены три группы соотношений показателей $KK_{\text{б}}$ и $KK_{\text{л}}$: 1) $KK_{\text{б}} < KK_{\text{л}}$ соответствует Ag (исключение – лиственница); 2) $KK_{\text{б}} \geq KK_{\text{л}}$ характерно для Ni, Cu, Cr; 3) $KK_{\text{б}} > KK_{\text{л}}$ представлено для Au, Co и Zn. Максимальное превышение $KK_{\text{б}}$ над $KK_{\text{л}}$ в 20-25 раз установлено для золота. Наибольшие значения $KK_{\text{б}}/Ni$ (2), Co (4) отмечены у лиственницы даурской, Zn (5) – у березы кустарниковой. Общей особенностью трех групп являются низкие показатели соотношения $KK_{\text{б}}$ и $KK_{\text{л}}$, близкие к единице всех биообъектов опробования, что указывает на нецелесообразность выявления аномалий биогеохимическим методом.

Анализ особенностей формирования биогеохимических аномалий в трансэлювиальном и супераквальном мерзлотных ландшафтах участка «Северный» показал, что действующие здесь факторы приводят к удовлетворительным результатам при использовании биогеохимического метода поисков золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения по концентрациям Au и Ag в растениях, но неблагоприятным – по концентрациям Ni, Co, Cu, Zn, Cr.

Таким образом, **при физико-химическом (в условиях криолитозоны) выветривании интрузий основного и ультраосновного состава с золото- и платиносодержащей медно-никелевой минерализацией происходит высвобождение и накопление рудных, в т.ч. сульфидных, минералов в крупной фракции (+1-3 мм) рыхлых элювиально-делювиальных отложений.**

Установление этого факта позволило применить и запатентовать новый литохимический способ поисков для выявления элювиально-делювиальных ореолов рассеяния рудных минералов – пирротина, халькопирита, пентландита и самородного золота. Такие ореолы конформны выходам на поверхность пироксенит-кортландитовых интрузий с потенциальным медно-никелевым оруденением

и, соответственно, вторичных ореолов рассеяния Ni, Cu, Co, Au.

Выявление аномалий элементов-индикаторов потенциального золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения в мерзлотных открытых ландшафтах биогеохимическим методом малоэффективно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии впервые обобщены сведения из опубликованных работ и фондовых материалов по общим и прикладным вопросам поисковой биогеохимии и геохимической экологии одного из крупнейших золотоносных регионов Дальнего Востока России – Верхнего Приамурья.

В первой главе сделан обзор публикаций по биогеохимическим исследованиям, проведен анализ биогеохимической и литохимической изученности региона.

Во второй главе рассмотрены вопросы методики биогеохимических поисков применительно к геологическим и ландшафтным условиям территории Верхнего Приамурья: выбор площадей, отбор проб растений, подготовка проб к анализу, анализ биогеохимических проб и обработка результатов биогеохимических исследований. Предложен новый способ литохимических поисков по открытым минералого-геохимическим ореолам в условиях криолитозоны. Разработанная методика подготовки и анализа литохимических проб позволяет оперативно и в комплексе извлекать геологическую и поисковую информацию о прямых и косвенных признаках золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения.

Третья глава посвящена исследованию особенностей формирования и параметров биогеохимических аномалий на золоторудном и золотороссыпном объектах на полузакрытых и закрытых природных территориях (на примере Тыгда-Улунгинского узла). В Тыгда-Улунгинском золотоносном узле широко развито золотосеребряное оруденение в условиях полузакрытого таежного элювиального ландшафта (участок «Покровка-IV»), сопровождающееся биогеохимическими аномалиями золота и ртути. Установлено, что количественно-информативными биогеохимическими индикаторами концентраций рудного золота на участках водоразделов, увалов и пологих склонов являются сухостой рододендрона даурского (*Rhododendron daurica*), кора лиственницы даурской (*Larix daurica*) и кора березы плосколистной (*Betula platyphilla*); ртути – живые побеги рододендрона.

Золотосеребряная минерализация в коренном залегании и аллювиальная россыпь золота в условиях элювиально-супераквального закрытого ландшафта (участок «Алкаган») сопровождаются биогеохимическими аномалиями золота и серебра. Контрастность биогеохимических аномалий золота и серебра над их коренными источниками превышает контрастность аномалий золота, серебра над россыпными источниками. Количественно-информативными биогеохимическими индикаторами концентраций рудного и россыпного золота, серебра на заболоченных участках речных долин и падей, нижних частях склонов являются ива черниковидная (*Salix myrtilloides*), ива коротконожковая (*Salix brachypoda*), береза кустарниковая (*Betula exilis*).

В четвертой главе излагаются особенности формирования и параметры биогеохимических аномалий на участке техногенного загрязнения отходами золотодобычи. Для территорий традиционной россыпной золотодобычи актуально применение метода биогеохимической индикации для оценки загрязнения окружающей среды токсичными элементами, главным образом ртутью. В Соловьевском золотоносном узле (участок ШОУ Соловьевского прииска) техногенные скопления ртути, минералов благородных и цветных металлов сопровождаются биогеохимическими аномалиями ртути и благородных металлов. Высокие значения биоконцентрации ртути отмечены в растениях, произрастающих в пределах территорий с аномальными концентрациями Hg в почвенном воздухе. Содержание золота в золе травянистой растительности участка соизмеримо с промышленным содержанием его в руде. Кроме золота и ртути, растения в широких пределах аккумулируют мышьяк и свинец.

В пятой главе приводится опыт применения минералого-геохимических поисков в мерзлотных ландшафтах на примере Джалта-Ульдегитского узла Дамбукинского района. В Джалта-Ульдегитском узле при малой мощности чехла элювиально-делювиальных отложений в условиях элювиальных, трансэлювиальных и супераквальных ландшафтов (участки «Южный» и «Северный») на поверхности проявляется главным образом механическая составляющая литохимических вторичных ореолов рассеяния. Доказано, что элементы-индикаторы – Ni, Cu, Co, Au – в

литохимических ореолах находятся в основном в минеральной форме. Источником их аномальных содержаний служат первичные рудные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит, золото. При физическом выветривании интрузий основного и ультраосновного состава с вкрапленной золото- и платиносодержащей медно-никелевой минерализацией в условиях криолитозоны высвобождение и накопление рудных минералов происходит главным образом в крупной фракции (+1-3 мм) рыхлых элювиально-делювиальных отложений.

От размерности материала, включаемого в литохимическую пробу, зависит степень контрастности вторичных ореолов рассеяния металлов и соответственно результат оценки прогнозного ресурсного потенциала рудогенных геохимических аномалий.

Таким образом, в монографии доказана информативность определенных видов растений при биогеохимическом методе поисков и гранулометрических классов фракций рыхлых отложений при литохимическом методе поисков. Полученные результаты углубляют представления о процессах формирования биогеохимических и литохимических ореолов рассеяния и формах нахождения в них химических элементов на территории Верхнего Приамурья.

Автор надеется, что включение безбарьерных биогеохимических методов в комплекс поисковых работ на золото позволит ускорить надежное опосредованное закрытых и полужакрытых территорий с покровом аллохтонных и склоновых образований в золотоносных районах Верхнего Приамурья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Авессаломова, И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учеб.-метод. Пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 108 с.
- Алексеев, В.А. Экологическая геохимия: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
- Алексеев, В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник. – Изд. 2-е. – М.: Логос, 2005. – 354 с.
- Анерт, Э.Э. Богатство недр Дальнего Востока. – Хабаровск-Владивосток: Книжное дело, 1928. – 932 с.
- Беус, А.А., Григорян, С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 280 с.
- Васильев, И.А. К истории открытия Покровского золоторудного месторождения // Геологические исследования в Амурской области. – Благовещенск: КИП Амурской обл., 2000. – С. 25-27.
- Вернадский, В.И. Биогеохимические очерки (1922-1932 гг.). – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 250 с.
- Вернадский, В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 358 с.
- Виноградов, А.П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР. – 1954. – Вып. 10. – С. 3-27.
- Виноградов, А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.
- Виноградов, А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции // Геохимия. – 1963. – № 3. – С. 199-213.
- Войткевич, Г.В., Мирошников, А.Е., Поваренных, А.С. и др. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1970. – 279 с.
- Воробьев, Д.П., Ворошилов, В.Н., Горовой, П.Г. Определитель растений Приморья и Приамурья. – М.- Л.: Наука, 1966. – 492 с.
- Ворошилов, В. Н. Определитель растений советского Дальнего Востока. – М., 1982. – 283 с.
- Вьюнов, Д.Л., Степанов, В.А. Структура и зональность геохимического поля Приамурской золотоносной провинции // ДАН. – 2004. – Т. 397, № 1. – С. 83-87.
- Вьюнов, Д.Л., Степанов, В.А. Геохимическое поле Верхнего Приамурья // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, № 5. – С. 116-124.
- Вьюнов, Д.Л. Прогнозно-геохимическая оценка металлоносности Верхнего Приамурья: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Благовещенск: АмурКНИИ, 2005. – 24 с.
- Гинзбург, И.И., Россман, Г.И., Муқанов, К.М. и др. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов / под ред. Е.Т. Шаталова. – М.: Недра, 1966. – 296 с.

Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 327 с.

ГОСТ 26929–94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – Минск, 2010. – 30 с.

Григорьев, А.М. К вопросу о возможности применения биогеохимического метода поисков золота в Бурятии // Материалы по геологии и полезным ископаемым БурАССР. – Улан-Удэ, 1962. – Вып. 8. – С. 92-99.

Добровольский, В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.

Добровольский, В.В. Основы биогеохимии: Учебник для студ. вузов. – М.: Академия, 2003. – 400 с.

Добровольский, В.В. Гипергенез и коры выветривания. Избранные труды. – Т. 1. – М.: Научный мир, 2007. – 512 с.

Добровольский, В.В. Геохимия почв и ландшафтов. Избранные труды. – Т. 2. – М.: Научный мир, 2009. – 758 с.

Добровольский, В.В. Биогеохимия мировой суши. – Т. 3. – М.: Научный мир, 2009. – 440 с.

Загоскин, В.А. Высокоэффективные технологии геохимических поисков руд и россыпей в таежных и субарктических ландшафтах. – М.: Пробел, 2003. – 517 с.

Захарова, Е.М. Шлиховой метод поисков полезных ископаемых: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Недра, 1989. – 160 с.

Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. – Кн. 5: Редкие d-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.

Ивашов, П.В. Экзогенные ореолы рассеяния золота на россыпном рудопроявлении Нижнего Амура // Зап. Забайкальского филиала Географ. общ-ва СССР. Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. – Вып. 88. – Чита, 1973. – С. 108-110.

Ивашов, П.В. Теоретические основы биогеохимического метода поисков рудных месторождений (применительно к территории Дальнего Востока). – Новосибирск: Наука, 1976. – 272 с.

Ивашов, П.В. Биогеохимические исследования на рудных месторождениях Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 1991. – 131 с.

Ивашов, П.В. Биогеохимический метод поисков руд на Дальнем Востоке // Вестник ДВО РАН. – 1993. – № 4-5. – С. 70-75.

Ивашов, П.В. Биогеохимическая индикация загрязнения окружающей среды химическими элементами // Тихоокеанская геология. – 1996. – Т. 15, № 1. – С. 142-148.

Ивашов, П.В., Кот Ф.С., Неудачин А.П. и др. Теоретические основы биогеохимической экспертизы окружающей среды. – Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 1998. – 158 с.

Ивашов, П.В., Пан, Л.Н., Махинин, В.А. Биогеохимическая индикация рудной минерализации // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – Вып. 10. – С. 77-95.

Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

Кабата-Пендиас, А., Пендиас, Г. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

Киприянов, Н.А. Экологически чистое растительное сырье и готовая пищевая продукция. – М.: Агар, 1997. – 176 с.

Китаев, Н.А., Жукова, Р.И. О соотношении концентраций золота в почве, лесной подстилке и коре деревьев // Геология и геофизика. – 1980. – № 12. – С. 137-140.

Ковалевский, А.Л. К теории и методике биогеохимических поисков золоторудных месторождений // Зап. Забайкальского филиала Географ. общ-ва СССР. – Вып. 88. Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. – Чита, 1973. – С. 39-43.

Ковалевский, А.Л. Биогеохимические методы поисков золоторудных месторождений // Обзор. Сер. III. Геол. методы поисков и разведки месторождений метал. полезных ископаемых. – М.: ВИ-ЭМС, 1974. – 34 с.

Ковалевский, А.Л. Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. – Новосибирск: Наука, 1975. – 113 с.

Ковалевский, А.Л., Прокопчук, С.И. О минеральных формах золота в растениях // ДАН СССР. – 1978. – Т. 242, № 2. – С. 430-433.

Ковалевский, А.Л. Ртутно-биогеохимических поиски месторождений полезных ископаемых // Геология руд. месторождений. – 1983. – Т. 25, № 4. – С. 94-97.

Ковалевский, А.Л. Биогеохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1984. – 172 с.

Ковалевский, А.Л. Глубинность биогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых // ДАН. – 1985. – Т. 282, № 5. – С. 1243-1246.

Ковалевский, А.Л., Ковалевская, О.М. Научные основы биогеохимических методов поисков рудных месторождений Забайкалья // Геохимия и методы анализа геологических объектов в Забайкалье. – Улан-Удэ: БФ СО АН СССР, 1986. – С. 193-202.

Ковалевский, А.Л. К выбору объектов опробования при ртутно-биогеохимических поисках месторождений полезных ископаемых // Геохимия. – 1989. – № 9. – С. 1320-1329.

Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений. – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.

Ковалевский, А.Л., Огурцов, А.М., Прокопчук, С.И., Суранова, Н.А. О минеральных формах серебра в растениях // ДАН. – 1992. – Т. 327, № 2. – С. 253-255.

Ковалевский, А.Л. Литохимические поиски платиноидов // Отечественная геология. – 1993. – № 8. – С. 27-35.

Ковалевский, А.Л., Ковалевская, О.М., Татьянакина, Э.М., Прокопчук, С.И. Особенности биогеохимической миграции платины и палладия в ландшафтах южной тайги Забайкалья // ДАН. – 1998. – Т. 358, № 2. – С. 248-251.

Ковалевский, А.Л. Перспективы развития биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых // Труды Биогеохимич. лаб. – Т. 23. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – М.: Наука, 1999. – С. 68-80.

Ковалевский, А.Л., Ковалевская, О.М., Прокопчук, С.И. Биогенное минералообразование платиноидов в растениях // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Материалы I Междунар. симпозиума. – СПб., 2002. – С. 148-150.

Ковалевский, А.Л., Ковалевская, О.М. Биоминерализация наземных растений // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень. Материалы I Междунар. симпозиума. Санкт-Петербург, 25-27 июня 2002. – СПб., 2002. – С. 153-156.

Ковалевский, А.Л. Выбор объектов опробования растений при биогеохимических поисках серебра // Отечественная геология. – 2002. – № 3. – С. 47-54.

Ковалевский, А.Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков / А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская; науч. ред. д-р геол.-минер. наук А.М. Плюсин. – Новосибирск: Гео, 2010. – 362 с.

Коваль, А.Т., Павлова, Л.М., Радомская, В.И., Радомский, С.М., Куимова, Н.Г., Крылов, А.В. Ртуть в экосистемах Приамурья // Вестник ДВО РАН. – 2002. – № 4. – С. 94-103.

Ковальский, В.В., Ладан, А.И. Материалы к биогеохимическому районированию Амурской области и районов Байкало-Амурской магистрали // Тр. Биогеохимической лаб. – Т. 19. Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. – М.: Наука, 1981. – С. 86-128.

Ковда, В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 263 с.

Коробушкина, Е.Д., Коробушкин, И.М. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового» золота // ДАН. – 1986. – Т. 287, № 4. – С. 978-980.

Коробушкина, Е.Д. Роль микроорганизмов в восстановлении и кристаллизации биогенного золота в золоторудных и россыпных месторождениях Восточного Забайкалья, Якутии и юга Камчатки // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков: РФФИ в азиатской части России. Материалы Всероссийской научной конф. – М.: Изд-во Инст-та земной коры СО РАН, 2001. – С. 293-294.

Куимова, Н.Г., Жилин, О.В. Биогенная кристаллизация ионного золота микромицетами // ДАН. – 2002. – Т. 386, № 6. – С. 809-812.

Куимова, Н.Г. Аккумуляция и кристаллизация золота микроорганизмами, выделенными из рудных и россыпных месторождений. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 135 с.

Куимова, Н.Г., Павлова, Л.М., Юсупов, Д.В. Биогенное концентрирование золота в природных ландшафтах и в условиях эксперимента // Материалы Всероссийского совещания. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012: В 3-х т. – Т. 3. – С. 215-218.

Ладан, А.И. Содержание и соотношение химических элементов в Зейской биогеохимической провинции Приамурья и пути повышения продуктивности животных // Вопросы сельскохозяйственного освоения зоны БАМ в Амурской области. – Благовещенск, 1978. – С. 33-34.

Лапаев, Г.П. Бриогеохимический метод поисков рудных месторождений // Тезисы 27 Междунар. геол. конгресса. – М.: Наука, 1984. – Т. 5. – С. 330-331.

Левинсон, А. Введение в поисковую геохимию / пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 499 с.

Малаев, А.А., Миронов, Е.П. Колчеданно-полиметаллическое оруденение в Западном Забайкалье // Геология медно-колчеданных, свинцово-цинковых и никелевых месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 1967. – С. 34-40.

Малюга, Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 264 с.

Маракушев, С.А. Геомикробиология и биохимия золота. – М.: Наука, 1991. – 111 с.

Мельников, В.Д. Аномалии золотоносности Верхнего Приамурья: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 1995. – 58 с.

Мельников, В.Д., Мельников, А.В., Ковтонюк, Г.П. Россыпи золота Амурской области. – Благовещенск: АмГУ, 2006. – 296 с.

Мельников, А.В., Моисеенко, В.Г., Степанов, В.А., Юсупов, Д.В. Новые данные по платинометалльному оруденению базит-ультраба-

зитовых массивов Дамбукинского рудного района // ДАН. – 2012. – Т. 442, № 1. – С. 1-4.

Миллер, А.Д., Фишер, Э.И., Фишер, В.Л. Исследование взаимодействия гумусовых кислот с золотом в связи с образованием вторичных ореолов и анализом проб // Зап. Забайкальского филиала Географ. общ-ва СССР. – Вып. 88. Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. – Чита, 1973. – С. 43-46.

Минеев, Г.Г. Участие организмов в геохимическом цикле миграции и концентрирования золота // Геохимия. – 1976. – № 4. – С. 577-582.

Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. – Благовещенск: КПП Амурской обл., 2000. – 168 с.

Мирзеханова, З.Г. Высвобождение и дифференциация минералов на склонах. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. – 128 с.

Моисеенко, В.Г., Маракушев, С.А. Бактериальное концентрирование, укрупнение и «облагораживание» золота в зоне окисления золоторудных месторождений и россыпях. – Благовещенск: АмурКНИИ, 1987. – 48 с.

Моисеенко, В.Г., Эйриш, Л.В. Золоторудные месторождения востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.

Моисеенко, В.Г. От атомов золота через кластеры, нано- и микроскопические частицы до самородков благородного металла. – Благовещенск: АО РМО, 2007. – 188 с.

Неронский, Г.И. Типоморфизм золота месторождений Приамурья. – Благовещенск: АмурНЦ ДВО РАН, 1998. – 320 с.

Неронский, Г.И. Поиски и оценка золоторудных месторождений по тимоморфным свойствам золота из россыпей. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 134 с.

Озерова, Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 232 с.

Остапенко, Н.С. Основные факторы и механизмы эндогенной концентрации золота (на примере месторождений Приамурья): Автореферат дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2007. – 46 с.

Патент РФ № 2247413, G 01 V9/00. Литохимический способ поисков / В.А. Степанов, Д.В. Юсупов; заявитель и патентообладатель АмурКНИИ ДВО РАН. – № 2003122376; заявл. 17.07.03; опубл. 27.02.05. Бюл. № 6. – 3 с.

Перельман, А.И. Взаимосвязь учения о биогеохимических провинциях и геохимии ландшафта // Тр. Биогеохим. лаб. – Т. 23. Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – М.: Наука, 1999. – С. 115-133.

Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 342 с.

Перельман, А.И. Биокосные системы Земли. – М.: Наука, 1979. – 424 с.

Перельман, А.И. Геохимия. – М.: Высш. школа, 1989. – 528 с.

Петрунина, Н.С., Ермаков, В.В., Дегтярева, О.В. Геохимическая экология растений в условиях полиметаллических биогеохимических провинций // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – М.: Наука, 1999. – С. 226-253.

Питулько, В.М. Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне. – Л.: Недра, 1977. – 197 с.

Поликарпочкин, В.В., Поликарпочкина, Р.Т. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М.: Наука, 1964. – 98 с.

Поликарпочкин, В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. – Новосибирск: Наука, 1976. – 407 с.

Полынов, Б.Б. О геологической роли организмов // Вопросы географии. – 1953. – Вып. 33. – С. 45-64.

Радомский, С.М. Распределение благородных металлов в природных объектах Приамурья: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Благовещенск: АмурКНИИ, 2000. – 24 с.

Радомская, В.И., Радомский, С.М., Юсупов, Д.В., Моисеенко, В.Г. Биоаккумуляция благородных металлов растениями // ДАН. – 2003. – Т. 388, № 1. – С. 93-96.

Радомская, В.И., Радомский, С.М., Моисеенко, В.Г. Особенности аккумуляции благородных металлов растениями ландшафтов Верхнего Приамурья // Литосфера. – 2008. – № 3. – С. 102-111.

Разин, Л.В., Рожков, И.С. К геохимии золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа. – М.: Наука, 1966. – С. 5-22.

Росляков, Н.А., Нестеренко, Г.В., Рослякова, Н.В., Воротников, Б.А. Применение геохимических методов при поисках и разведке золоторудных месторождений // Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. – Чита: Забайкальский филиал Географ. общ-ва СССР, 1973. – С. 5-9.

Саэт, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Салаяев, Р.К., Романенко, А.С. Эндодитоз. – Новосибирск: Наука, 1979. – 122 с.

Сауков, А.А. Геохимия ртути // Тр. ИГН АН СССР. – 1946. – Вып. 74. – 128 с.

Сауков, А.А., Айдиньян, Н.Х., Озерова, Н.А. Очерки геохимии ртути. – М.: Наука, 1972. – 336 с.

Соколов, С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. – СПб.: Наука, 1998. – 154 с.

Соколов, С.В., Марченко, А.Г. Отчет о результатах геохимических поисков на цветные и благородные металлы в пределах Лоухской площади. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. – 126 с.

Соколов, С.В., Марченко, А.Г., Шевченко, С.С. и др. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. – 98 с.

Солнцева, Н.П., Касимов, Н.С. Техногенные потоки и ландшафтно-геохимические барьеры. Исследование окружающей среды геохимическими методами. – М., 1982. – 214 с.

Соловов, А.П., Матвеев, А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 228 с.

Соловов, А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 294 с.

Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Стеблевская, Н.И., Медков, М.А., Молчанов, В.П., Полякова, Н.В., Моисеенко, Л.И., Зориков, П.С., Батырбаева, Н.В. Изучение биогеохимического накопления микроэлементов в почвах и растениях Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. – 2006. – № 2. – С. 57-63.

Степанов, В.А., Берзон, Р.О. О связи золота и ртути в рудообразующих процессах // Советская геология. – 1983. – № 1. – С. 54-56.

Степанов, В.А., Юсупов, Д.В., Ботряков, Г.В. Экологические аспекты воздействия золотоизвлекательных производств на природно-техногенные системы Верхнего Приамурья // Проблемы геоэкологии и рационального природопользования стран Азиатско-Тихоокеанского региона: Материалы Междунар. научно-практ. конф. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. – С. 92-93.

Степанов, В.А. Геология золота, серебра и ртути. – Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 161 с.

Степанов, В.А., Моисеенко, В.Г. Геология золота, серебра и ртути. – Ч. 1. Золотортутные месторождения. – Владивосток: Дальнаука, 1993. – 227 с.

Степанов, В.А., Юсупов, Д.В., Радомская, В.И. Экологические последствия складирования ртутьсодержащих отходов в пос. Соловьевск (Амурская обл.) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2003. – № 6. – С. 540-545.

Степанов, В.А., Мельников, А.В., Юсупов, Д.В. Рассыпеобразующая роль пироксенит-коргландитовых интрузий с благороднометалльным медно-никелевым оруденением // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов востока России.

Новые технологии переработки благороднометалльного сырья: Сб. науч. тр. / под ред. В.Г. Моисеенко, А.П. Сорокина. – Благовещенск: Изд-во Ин-та геологии и природопользования ДВО РАН, 2005. – С. 146-150.

Степанов, В.А., Рогулина, Л.И., Мельников, А.В., Юсупов, Д.В. Самородное золото в пироксенит-кортландитовых интрузиях с медно-никелевым оруденением и в россыпях Дамбукинского золотоносного узла Приамурья // Записки РМО. – 2006. – Ч. СXXXV, № 4. – С. 31-38.

Степанов, В.А., Мельников, А.В., Вах, А.С., Вьюнов, Д.Л., Дементенко, А.И., Пересторонин, А.Е. Приамурская золоторудная провинция. – Благовещенск: АмГУ; НИГТЦ ДВО РАН, 2008. – 232 с.

Степанов, В.А., Мельников, А.В. Никеленосность Верхнего Приамурья. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 217 с.

Степанов, В.А. Перспективы золотого оруденения Приамурской провинции // Вестник АмГУ. – 2011. – Вып. 55. – С. 79-86.

Тарасенко, И.А. Экологические последствия минерально-геологических преобразований хвостов обогащения Sn-Ag-Pb-Zn руд (Приморье, Дальнегорский район): Дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Владивосток, 1998. – 218 с.

Тайсаев, Т.Т. Геохимия таежно-мерзлотных ландшафтов и поиски рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1981. – 137 с.

Тайсаев, Т.Т. Миграция золота в рудных полях гольцовых ландшафтов // Геохимия и методы анализа геологических объектов в Забайкалье. – Улан-Удэ: БФ СО АН СССР, 1986. – С. 42-54.

Тайсаев, Т.Т., Константинова, И.М. Концентрация золота в ягеле на золоторудных полях гольцовых ландшафтов // ДАН. – 1999. – Т. 302, № 3. – С. 706-709.

Талипов, Р.М. Биогеохимические поиски полиметаллических и медных месторождений в условиях Узбекистана. – Ташкент: Изд-во ФАН УзбССР, 1966. – 105 с.

Таусон, Л.В., Китаев, Н.А., Жукова, Р.И. Оценка информативности биогеохимического опробования при поисках полей концентрации золота // Доклады Академии наук. 1980. Т. 251. №2. – С. 460-463.

Ткалич, С.М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. – М.: Госгеолиздат, 1953. – 22 с.

Ткалич, С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1970. – 174 с.

Федорчук, В.П. Геология ртути. – М.: Недра, 1983. – 240 с.

Ферсман, А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. – М.: Изд-во Академии наук, 1939. – 446 с.

Фурсов, В.З. Ртуть – индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. – М.: Недра, 1977. – 143 с.

Фурсов, В.З. Экогеохимическая значимость ртути при изучении антропогенного загрязнения городов и поселков // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. – М.: ИМГРЭ, 1991. – С. 84-92.

Фурсов, В.З. Ртуть при геологических и экологических исследованиях // Геохимические методы в экологических исследованиях. – М.: ИМГРЭ, 1994. – С. 89-107.

Юсупов, Д.В. Содержание тяжелых металлов в растениях территории ШОУ Соловьевского прииска (Амурская область) // Амурская наука на пороге III тысячелетия: Сб. трудов региональной научной конф. – Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 18-20.

Юсупов, Д.В. Опыт выявления биогеохимических аномалий золота и серебра на россыпном месторождении Тыгда-Улунгинского золотоносного узла // Молодежь XXI века: шаг в будущее: Сб. трудов III региональной научно-практической конференции. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002. – С. 201-202.

Юсупов, Д.В. Перспективы биогеохимических методов для решения поисковых и природоохранных задач в Амурской области // Молодежь XXI века: шаг в будущее: Сб. трудов III региональной науч.-практ. конф. – Благовещенск: АмГУ, 2002. – С. 202-203.

Юсупов, Д.В. Опыт применения нового минералого-геохимического метода поисков сульфидных руд // Проблемы геологии и освоения недр. Труды VIII Междунар. симпозиума молодых ученых им. акад. М.А. Усова. – Томск: ТПУ, 2004. – С. 218-219.

Юсупов, Д.В. Биогеохимические ореолы золота и ртути Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2009. – № 6. – С. 38-43.

Юсупов, Д.В. Биогеохимический и минералого-геохимический методы поисков месторождений благородных и цветных металлов (на примере Верхнего Приамурья): Автореферат дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб: СПГГИ (ТУ), 2009. – 20 с.

Юсупов, Д.В., Радомская, В.И. Формирование биогеохимических аномалий золота и ртути рудного поля Покровского месторождения // Материалы докладов III Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий». – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2010. – С. 41-46.

Юсупов, Д.В. Биогеохимическая индикация золотоносных супераквальных закрытых ландшафтов Верхнего Приамурья // Вестник АмГУ. – 2010. – Вып. 51. – С. 74-80.

Юшко-Захарова, О.Е., Иванов, В.В., Соболева, Л.Н. и др. Минералы благородных металлов. – М.: Недра, 1986. – 272 с.

Brooks, R.R. Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration. – N.Y.; L.: Harper a Row, 1972.

Carlisle, D., Cleveland, G.B. Plants as a guide to mineralization // Calif. Div. Mines Geol. Spec. Rept. – 1958. – № 50.

Cole, M.M. The importance of environment in biogeographical / geobotanical and biogeochemical investigation // Geochemical Exploration, CIM Spec. – 1971. – Vol. 11. – P. 414-425.

Dunn, C.E. Gold biogeochemistry investigation, in Christopher, Summary of Investigation 1980. – Saskatchewan Geological Survey: Sask. Dept. Min. Res. Misc. Rep. – 1980. – P. 81-85.

Dunn, C.E. Application of biogeochemical methods to mineral exploration in the boreal forests of central Canada // Saskatchewan Geological Survey Regina, Canada. – 1984. – P. 134-149.

Stepanov, V.A., Yusupov, D.V., Botryakov, G.V. Ecological aspects of influence of gold extraction on natural-technogenic systems of the Upper Priamurye // Abstracts of Int. Conference on Problems of geology and efficient nature use countries of Asian-Pacific region. – Vladivostok, 2000. – P. 93-94.

Stepanov, V.A., Yusupov, D.V. Mercury contamination of soil-vegetative cover in zone of influence of a gold-concentration enterprise // Abstracts of 6th International Conference on Mercury as a Global Pollutant (ICMGP). – Minamata, Japan, 2001. – P.199.

Stepanov, V.A., Rogulina, L.I., Melnikov, A.V., Yusupov, D.V. Native Gold in Cu- and Ni-Bearing Proxenite-Cortlandite Intrusions and Placers of the Dambuki Ore Cluster, the Amur Rigion // Geology of Ore Deposits. – 2007. – Vol. 49, № 7. – P. 123-127.

Warren, H.V. Biogeochemistry in Canada // Endeavor. – 1972. – № 31. – P. 46-49.

Содержание элементов-примесей в кристаллах халькоприта из минерало-геохимических ореолов

№ п/п	№ пробы	Содержание элементов, г/т (%)																	
		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Bi	Sb	As	Ti	Ni	Co	Mn	Ba	Ca	Mg	Al	Fe	Si
1	1-98	-	>100	>>10%	0.7%	0.7%	300	-	-	0.1%	1%	100	0.1%	100	>10%	1%	1%	>>10%	10%
2	1-102	-	>100	>>10%	≥1%	>1%	300	-	0.1%	50	7%	3	200	30	50	1%	700	>>10%	5%
3	2-98	-	>100	>>10%	1%	>1%	100	0.3%	0.7%	10	15	-	300	-	30	0.3%	0.1%	>>10%	2%
4	2-99	-	>100	>>10%	0.5%	1%	300	-	0.1%	10	3	-	100	100	10	700	>>10%	1%	
5	3-94	-	>100	>>10%	>>1%	>1%	50	0.1%	1%	10	10	-	700	30	500	0.1%	500	>>10%	3%
6	3-97	-	>100	>>10%	0.3%	100	500	-	-	30	1%	200	500	50	2%	700	0.1%	>>10%	10%
7	4-96	-	>100	>>10%	1%	0.7%	100	0.1%	0.3%	10	7	-	100	30	300	0.2%	0.1%	>>10%	3%
8	4-103	-	>100	>>10%	0.7%	300	100	0.1%	300	-	-	-	10	-	-	30	300	>>10%	2%
9	5-94	-	>100	>>10%	0.7%	50	50	0.1%	500	300	0.5%	100	0.2%	-	3%	0.5%	1%	>>10%	7%
10	5-99	-	>100	>>10%	≥1%	0.5%	500	-	0.1%	40	1%	200	500	50	2%	700	0.1%	>>10%	10%
11	6-90	-	>100	>>10%	1%	100	30	0.5%	>>1%	-	-	-	400	-	10	0.1%	10	≥10%	1%
12	6-104	-	≥100	>>10%	0.8%	0.3%	400	0.2%	0.1%	30	3	-	100	-	30	500	200	>10%	2%
13	6-127	-	≥100	>>10%	0.8%	>1%	500	0.5%	0.2%	40	5	-	200	-	300	300	100	>10%	1%
14	6-129	50	>100	>>10%	>1%	500	150	1%	>>1%	-	7	5	400	-	30	0.1%	300	>>10%	6%
15	7-127	-	>100	>>10%	0.3%	300	100	0.1%	0.2%	-	-	-	700	-	200	0.1%	300	>>10%	2%
16	7-132	-	>100	>>10%	0.1%	200	100	0.7%	0.3%	-	-	-	200	-	10	0.2%	10	5%	3%
17	8-126	-	>100	>>10%	>>1%	700	200	0.5%	1%	100	10	10	700	-	300	0.2%	500	>>10%	5%
18	8-130	-	>100	>>10%	0.7%	0.3%	200	0.3%	0.5%	10	-	-	100	-	30	300	200	>10%	0.5%
19	9-131	-	>100	>>10%	0.7%	0.5%	0.1%	-	300	10	5	-	30	-	20	100	100	>10%	2%
20	16-83	-	100	>>10%	0.5%	100	100	-	-	50	-	-	10	-	-	15	100	>10%	5
21	17-82	-	70	>>10%	0.5%	100	30	-	-	10	-	-	10	-	-	10	300	>10%	100
22	17-84	-	100	>>10%	0.3%	300	300	-	-	10	-	-	10	-	30	10	300	>10%	0.1%
23	17-85	-	≥100	>>10%	0.7%	300	500	-	-	10	-	-	30	-	-	15	300	>>10%	0.3%

Примечание: 1-12 – ореол «Южный»; 13-19 – ореол «Северный»; 20-23 – ореол «Восточный».

Содержания элементов определены приближенно – количественным спектральным анализом методом испарения в лаборатории АмурКНИИ ДВО РАН, аналитики Н.С. Ворошилова, С.Н. Некрасова. То же в приложениях 2 – 4.

Содержание элементов-примесей в кристаллах галенита минералого-геохимических ореолов

№ п/п.	№ пробы	Содержание элементов, г/т (%)																
		Au	Ag	Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	Sb	As	Ti	Mn	Tl	Mg	Al	Fe	Si	Te
1	1-98	-	7000	300	1000	-	>>>10%	1000	3000	100	3	10	-	30	10	1000	100	30
2	1-102	-	500	70	1000	-	>>>10%	-	2000	-	-	30	100	1000	2	5	10	-
3	2-98	-	1000	100	2000	5000	>>>10%	-	7000	-	3	5	300	20	10	7	100	-
4	2-99	-	1000	300	>1000	>1%	>>>10%	50	1%	1000	-	10	700	10	3	300	10	-
5	3-94	-	2000	300	5000	-	>>>10%	-	5000	-	3	7	100	20	10	10	70	-
6	3-97	-	1000	100	1000	>1%	>>>10%	10	>1%	100	-	3	1000	30	1	70	10	-
7	4-96	-	2000	300	3000	1000	>>>10%	-	1%	500	3	10	500	30	10	10	300	-
8	4-103	-	100	70	1000	>>>1%	>>>10%	-	5000	200	7	10	50	10	1	100	10	-
9	5-94	-	1000	150	2000	>>>1%	>>>10%	700	7000	300	10	50	150	20	3	700	30	100
10	5-99	-	300	300	>1000	>>>10%	>>>10%	10	>1%	>1%	-	30	>1000	30	3	700	20	-
11	6-90	-	2000	300	3000	300	>>>10%	30	1%	500	3	40	200	1000	7	30	200	-
12	6-104	-	200	30	500	-	>>>10%	-	1000	100	-	3	200	7	1	3	10	-
13	6-127	10	1%	>1%	-	300	>>>10%	>1%	>1%	2000	-	300	-	100	1	1000	3%	-
14	6-129	-	1000	500	3000	300	>>>10%	50	1%	-	3	10	100	30	3	30	100	-
15	7-127	-	3000	150	1000	1%	>>>10%	>1000	7000	-	10	20	100	10	1	70	70	70
16	7-132	-	1000	150	3000	>1%	>>>10%	30	1%	3000	30	20	700	20	3	1000	70	-
17	8-126	-	2000	300	5000	>>>1%	>>>10%	70	>1%	7000	50	1000	500	>10%	1000	3%	700	-
18	8-130	-	300	50	300	1000	>>>10%	-	3000	100	-	3	300	10	2	5	10	-
19	9-131	-	3000	200	>1000	-	>>>10%	>1%	3000	100	-	5	100	10	1	100	10	500
20	17-82	-	500	100	>1000	>>>1%	>>>10%	-	>>>1%	1000	-	5	>1000	100	1	3	10	-

Примечание: 1-12 – ореол «Ожньий»; 13-19 – ореол «Северный»; 20 – ореол «Восточный».

Содержание элементов-примесей в кристаллах пирротина в сростках с пентландитом минералого-геохимических ореолов

№ п/п	№ пробы	Содержание элементов, г/т (%)																	
		Ag	Cu	W	Zn	Pb	Bi	As	Cr	Ti	Ni	Co	Mn	V	Ca	Mg	Al	Fe	Si
1	1-98	1	0.5%	-	-	10	-	-	-	1	>3%	500	50	-	-	20	10	100	100
2	1-102	1	0.2%	-	-	10	-	-	-	50	1%	400	500	5	0.1%	0.1%	500	>>>10%	0.5%
3	2-98	2	1%	10	100	30	-	-	-	30	>3%	0.1%	0.2%	-	-	0.1%	>>>10%	1%	
4	2-99	0.5	0.2%	-	-	10	-	-	-	7	>1%	500	100	-	-	50	70	300	
5	3-94	2	>1%	-	200	20	-	-	-	50	>3%	700	0.1%	-	500	0.1%	>>>10%	0.5%	
6	3-97	1	>1%	10	-	20	-	-	-	70	>1%	700	0.1%	10	0.3%	0.5%	>>>10%	3%	
7	4-96	1.5	0.5%	-	-	20	-	-	-	30	>3%	0.1%	200	-	300	300	>>>10%	300	
8	4-103	3	>1%	10	300	40	-	-	-	30	>3%	700	0.5%	10	0.3%	1%	>>>10%	0.5%	
9	5-94	0.5	0.1%	-	-	-	-	-	-	20	>3%	100	50	-	10	7	>>>10%	100	
10	5-99	0.1	0.1%	-	-	30	-	-	-	10	0.7%	200	30	-	10	5	>>>10%	100	
11	6-90	0.7	0.2%	-	-	-	-	-	-	10	>3%	300	50	-	10	7	>>>10%	100	
12	6-104	15	>>>1%	-	700	100	70	700	-	50	1%	300	400	10	0.1%	200	>>>10%	0.5%	
13	6-127	0.7	0.2%	-	-	10	-	-	-	7	0.7%	300	100	-	30	50	>>>10%	300	
14	6-129	1	>1%	-	-	-	-	-	-	20	>3%	0.1%	300	-	20	500	>>>10%	0.1%	
15	7-127	40	>>>1%	-	700	100	30	-	-	10	>3%	0.1%	500	-	20	700	>>>10%	0.1%	
16	7-132	2	0.3%	-	-	10	-	-	-	30	>3%	0.1%	70	5	10	10	>>>10%	100	
17	8-126	3	>1%	-	300	30	-	-	-	10	300	≥1%	700	0.5%	10	2%	>>>10%	5%	
18	8-130	5	>1%	-	-	10	-	-	-	-	>1%	500	200	-	30	100	>>>10%	700	
19	9-131	3	0.2%	-	-	50	-	-	-	50	>1%	700	500	-	700	0.1%	>>>10%	0.3%	
20	23-45	2	1%	-	-	10	-	-	-	100	>1%	700	500	50	0.3%	0.2%	>>>10%	3%	

Примечание: 1-12 – ореол «Ожньий»; 13-19 – ореол «Северный».

Содержание элементов-примесей в кристаллах пирита из ореолов участков «Южный» и «Северный»

№ п/п	№ пробы	Содержание элементов, г/т (%)																
		Ag	Cu	Sn	Zn	Pb	Bi	Sb	As	Ti	Y	Ni	Co	Mn	Ca	Mg	Al	Fe
1	1-97	0.1	30	-	0.7%	50	-	0.7%	-	20	100	100	-	-	10	10	>>10%	5
2	1-98	70	200	200	>>1%	>>1%	-	>1%	30	10	-	-	150	-	30	200	>>10%	100
3	2-93	7	300	50	>1%	0.7%	1	>1%	15	7	100	20	170	-	20	300	>>10%	300
4	2-99	0.7	100	30	>1%	0.7%	-	>1%	5	10	70	50	70	-	10	30	>>10%	70
5	3-97	2	200	50	>1%	0.7%	5	>1%	7	7	40	100	300	10	30	100	>>10%	100
6	3-100	0.5	100	5	1%	0.3%	-	0.7%	7	10	70	100	10	-	10	20	>>10%	700
7	4-96	0.3	200	-	-	300	30	>1%	50	10	30	10	100	10	20	200	>>10%	300
8	4-103	7	200	100	>>1%	>>1%	-	>1%	-	-	30	100	100	-	10	10	>>10%	100
9	5-92	0.7	20	-	>>1%	0.1%	500	>1%	-	-	5	3	50	-	30	300	>>10%	100
10	5-99	100	100	300	>>1%	>>1%	-	>1%	-	-	50	20	70	-	10	200	>>10%	0.3%
11	6-97	10	200	70	>>1%	>>1%	-	0.5%	40	10	50	20	70	-	15	500	>>10%	200
12	6-129	70	100	100	>>1%	>>1%	-	1%	-	30	70	100	60	-	20	300	>>10%	0.1%
13	7-127	50	500	200	>>1%	>>1%	20	1%	70	7	30	70	70	-	10	100	>>10%	700
14	8-126	5	30	70	>1%	>1%	100	0.1%	20	-	20	30	100	10	10	100	>>10%	300
15	8-130	70	300	300	>>1%	>>1%	-	>1%	70	10	-	-	300	0.1%	300	300	>>10%	300
16	9-131	10	50	50	>1%	>1%	-	1%	30	10	15	-	50	50	100	100	>>10%	70

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Содержание элементов-примесей в зернах лимонита из ореола участка «Северный»

№ п/п	№ пробы	Содержание элементов, г/т (%)																		
		Ag	Cu	Zn	Pb	As	Ti	Y	Ni	Co	Mn	V	Be	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Fe	Si
1	6-127	-	200	100	-	0.3	500	20	-	10	1	100	30	30	30	-	1%	2%	>>10%	3%
2	6-129	0.5	10	100	100	-	300	-	10	-	0.2%	20	<1	30	-	100	0.1%	700	>>10%	0.3%
3	7-127	0.3	100	300	70	100	700	-	30	10	0.3%	30	1	30	10	100	0.1%	0.3%	>>10%	1%
4	7-132	-	100	300	50	-	0.2%	-	300	30	1%	5	300	100	100	0.7%	7%	>>10%	7%	
5	8-126	0.3	100	200	70	-	0.1%	30	300	20	0.7%	10	3	100	100	0.5%	3%	>>10%	5%	
6	8-130	0.7	0.3%	0.1%	100	300	100	300	700	20	>1%	-	3	100	100	1%	0.3%	>>10%	5%	
7	9-131	0.2	200	300	100	0.5%	700	20	30	30	>>1%	70	2	0.1%	-	>1%	3%	>>10%	5%	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Общие сведения о применении биогеохимического и минералого-геохимического методов на территории Верхнего Приамурья	10
Глава 2. Методика биогеохимических и минералого-геохимических поисков	17
2.1. Методика биогеохимических поисков	17
2.1.1. Выбор площадей	17
2.1.2. Отбор проб растений	20
2.1.3. Подготовка проб растений к анализу	23
2.1.4. Анализ биогеохимических проб	24
2.1.5. Обработка результатов биогеохимических исследований	25
2.2. Методика минералого-геохимических поисков	29
Глава 3. Применение биогеохимического метода поисков рудного и россыпного золота (на примере Тыгда-Улунгинского узла)	32
3.1. Покровское золоторудное месторождение	32
3.1.1. Ландшафтные условия	33
3.1.2. Геологическое строение и состав руд	34
3.1.3. Геохимическая характеристика месторождения	36
3.1.4. Участок «Покровка-IV»	38
3.1.5. Результаты биогеохимических исследований	40
3.2. Участок «Алкаган»	48
3.2.1. Ландшафтные условия	48
3.2.2. Геологическое строение	49
3.2.3. Результаты биогеохимических исследований	54
Глава 4. Применение биогеохимического метода для эколого-геохимической оценки территорий золотодобычи (на примере Соловьевского узла)	63
4.1. Участок ШОУ Соловьевского прииска	63
4.1.1. Ландшафтные условия	63
4.1.2. Минералогическая и геохимическая характеристика	64
4.2. Результаты биогеохимических исследований	73
Глава 5. Применение минералого-геохимического и биогеохимического методов поисков золото- и платиносодержащего медно-никелевого оруденения (на примере Джалта-Ульдегитского узла)	79
5.1. Джалта-Ульдегитский рудно-россыпной узел	79
5.1.1. Ландшафтные условия	79
5.1.2. Геологическое строение и состав руд	81
5.1.3. Геохимическая характеристика	92
5.2. Применение минералого-геохимического метода поисков	96
5.2.1. Минералого-геохимические ореолы	96
5.2.2. Участок «Южный»	99
5.2.3. Участок «Северный»	103
5.3. Результаты биогеохимических исследований	112
Заключение	117
Библиографический список	120
Приложения	131

Дмитрий Валерьевич Юсупов,
*канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры геологии
и природопользования АмГУ*

**Применение биогеохимического и минералого-геохимического
методов поисков в золотоносных районах Верхнего Приамурья. Моно-
графия.**

Подписано к печати 28.05.2013. Формат 64×84/16.
Усл. печ. л. 7,91. Тираж 500. Заказ 420.
Отпечатано в типографии АмГУ