

*На правах рукописи*

**МАКШАКОВ Артем Сергеевич**

**ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ  
ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ  
БАЛЫГЫЧАНО-СУГОЙСКОГО ПРОГИБА  
(СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

Специальность 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков  
полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Иркутск – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук  
Кравцова Раиса Григорьевна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
Плюснин Алексей Максимович  
кандидат геолого-минералогических наук  
Филиппова Людмила Александровна

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Защита диссертации состоится 8 апреля 2011 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Учреждении Российской академии наук Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Автореферат разослан «\_\_\_» февраля 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.г.-м.н.



Королева Г.П.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** При региональном прогнозе и поисках разнотипной рудной минерализации на территории Северо-Востока России традиционные геохимические съемки по литохимическим потокам рассеяния (ЛПР) 1:200 000 м-ба являются практически основным методом, позволяющим оценивать значительные площади. Этот метод имеет существенные преимущества – простота и экспрессность, относительная глубинность, возможность быстро получать информацию о металлогенических особенностях района.

Однако опыт проведения таких съемок на территории изученных рудных районов центральной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) показал, что выявленные таким образом экзогенные аномальные геохимические поля (АГХП) обладают относительно общим характером развития, бедным компонентным составом и низкой контрастностью. Затруднена типизация полей и выявление зональности, менее эффективна интерпретация их рудно-формационной принадлежности.

Очевидной становится необходимость дальнейшего изучения ЛПР. А именно, выявление их состава и строения, особенностей формирования, разработка эффективных геохимических критериев прогноза и поисков рудной минерализации, в первую очередь, Au-Ag. Особенно актуально это для хорошо изученных территорий, где уже был проведен значительный объем поисковых и оценочных работ. К таким территориям на Северо-Востоке России относятся центральная и южная части Балыгычано-Сугойского прогиба (Омсукчанский рудный район, Магаданская область), где в рамках двух Au-Ag рудно-магматических систем (РМС) – Дукатской и Пестринской и сопряженных с ними площадей, проводились исследования.

**Цель и задачи работы.** Целью работы явилось изучение ЛПР, особенностей и условий их формирования, выявление на этой основе эффективных способов поисков и оценки Au-Ag минерализации. Для ее достижения были решены следующие основные задачи: обобщение и анализ материала разномасштабных геохимических съемок по ЛПР, построение моно- и полиэлементных геохимических карт; изучение состава и строения экзогенных АГХП, выявленных по ЛПР, установление закономерностей их распределения в пространстве; проведение геохимической типизации экзогенных АГХП, связанных с разнотипной рудной минерализацией, оценка их рудно-формационной принадлежности; исследование ЛПР по профилям, пройденным вкрест простирания крупных речных долин и выявление особенностей распределения элементов в разных фракциях аллювия; изучение и анализ особенностей формирования бриолитохимических потоков рассеяния (БЛПР) и использование их при оценке АГХП, выявленных по ЛПР; усовершенствование методов металлометрической съемки по ЛПР, разработка дополнительных геохимических критериев прогноза и поисков Au-Ag минерализации.

**Объекты исследования.** Региональные и локальные съемки, методические работы и детальные исследования проводились в рамках Дукатской и Пестринской Au-Ag РМС и сопряженных с ними площадей. Изучались ЛПР РМС и месторождений. Детальные работы по изучению распределения элементов в рыхлых отложениях современных долин III и IV порядков были выполнены на примере рек Малый Кэн, Кэн и Тап.

С целью изучения БЛПР по ручьям Чайка, Пиритовый (Дукатская РМС) и Прямой (Пестринская РМС) были отобраны пробы водных (гидрофиты) и полуводных (гигрофиты) мхов. Установлено, что БЛПР являются составной частью ЛПР, т.к. мхи благодаря своей «псевдокорневой» системе (т.н. ризоидам) улавливают и достаточно прочно удерживают неотделяемые от биофазы микрочастицы аллювия.

**Фактический материал и личный вклад.** В работе использованы материалы разномасштабных площадных геохимических съемок по ЛПР 1:200 000 (около 16 000 проб) и 1:50 000 м-бов (более 10 000 проб), выполнявшихся на территории трех

государственных листов – Р-56-ХII, Р-56-ХVIII, Р-56-ХХIV. Съёмки осуществлялись с 1981 по 1995 гг. коллективами ПГО «Севостокгеология» (г. Магадан) и Института геохимии СО РАН (г. Иркутск) в рамках хоздоговорных работ.

Начиная с 1988 года и по настоящее время, в рамках темпланов НИР Института, на этих площадях проводятся детальные исследования по изучению ЛПР и БЛПР, в которых, начиная с 2007 года и по 2010 год включительно, автор принимает личное участие. Им обобщен значительный по объёму и информации материал по изучению потоков рассеяния. Разработаны методики опробования верховьев водотоков (бриолитохимические исследования) и крупных речных долин (профиля вкрест простирания).

**Научная новизна.** Впервые приводятся данные по комплексному изучению ЛПР на территории двух крупнейших Au-Ag РМС Балыгычано-Сугойского прогиба – Дукатской и Пестринской. Обобщены материалы разномасштабных площадных съёмок, установлены особенности состава и строения экзогенных АГХП, проведено их сравнение с эндогенными.

Впервые приводятся результаты исследования аллювиальных отложений водотоков III и IV порядков, полученные при опробовании по профилям, размещённым вкрест простирания крупных речных долин. Изучены особенности распределения рудных элементов по различным фракциям аллювия. Выявлены основные факторы, которые влияют на формирование ЛПР.

Впервые изучены БЛПР, их состав и строение. Полученные данные говорят о том, что можно вести опробование в верховьях водотоков, где нет аллювиальных отложений. Использование БЛПР как неотъемлемой части ЛПР позволяет получать более достоверную информацию о наличии экзогенных АГХП и их особенностях. Проведённые исследования по изучению состава бриолитохимических проб по существу являются пионерными.

**Практическая значимость.** Проведённые комплексные исследования показали эффективность использования площадных геохимических съёмок по ЛПР 1:200 000 м-ба при региональном, а геохимических съёмок по ЛПР 1:50 000 м-ба при локальном прогнозе.

Установлено, что в практическом отношении применение литохимических съёмок по потокам рассеяния 1:200 000 м-ба наиболее эффективно на слабоизученных территориях, где информация о геохимических особенностях и металлогении района, в целом, отсутствует. Использование геохимических съёмок 1:50 000 м-ба актуально при поисковых работах там, где уже был проведен значительный объём геологических исследований.

Предложен способ выявления АГХП по ЛПР крупных рек, заключающийся в отборе проб аллювия по профилям, расположенным вкрест простирания речных долин III и IV порядков. Показана эффективность такого опробования с целью наиболее достоверного выявления и оценки экзогенных аномалий.

Разработан метод поисков Au-Ag минерализации по БЛПР, который заключается в отборе мхов, произрастающих по берегам и руслам водотоков, совместно с илистой фракцией. Такие пробы в значительной степени состоят из литохимического материала. Следовательно, их можно рассматривать как составную часть ЛПР. При отсутствии аллювиальных отложений в вершинах рек и ручьев метод позволяет получать информацию о наличии или отсутствии в потоках основных элементов-индикаторов оруденения, для Au-Ag минерализации это, главным образом, Au и Ag.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертации имеется десять научных работ (из них две в рецензируемых журналах). Основные результаты и главные положения диссертации доложены автором в устных докладах на Междунар. форуме «Золото северного обрамления Пацифика», Магадан, 2008; IV Междунар. Сибирской конф. молодых ученых по наукам о Земле, Новосибирск, 2008; XV научной молодежной школе «Металлогения древних и современных океанов...», Миасс, 2009; конф. молодых ученых «Современные проблемы геохимии», Иркутск, 2009; Всероссийской конф. «Самородное золото...», Москва, 2010.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Диссертация общим объемом 235 стр. включает 119 илл. и 22 табл. Список литературы содержит 190 наименований. В главе 1 даются общие сведения о районе работ, геолого-геохимическое описание, методика проведения исследований. Главы диссертации 2, 3, 4 и 5 являются обоснованием *первого, второго, третьего и четвертого* защищаемых положений, соответственно. Глава 2 посвящена изучению АГХП, выявленных в результате съемки по ЛПП 1:200 000 м-ба. В главе 3 приводятся данные съемки по ЛПП 1:50 000 м-ба. Глава 4 посвящена исследованию рыхлых отложений крупных водотоков. В главе 5 рассмотрены БЛПП. В заключении дается развернутая аргументация защищаемых положений, делаются выводы.

**Благодарности.** Работа выполнена в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Автор искренне признателен всем сотрудникам Института и других геологических организаций, принимавших участие в обработке полученных данных и их обсуждении: М.Г. Азовскому, А.Г. Анишковой, В.Л. Таусону, Л.А. Павловой, А.М. Спиридонову, В.Д. Козлову, Г.А. Белоголовой, В.А. Бычинскому, Н.А. Горячеву, А.А. Пляшкевич, Н.Е. Савве, А.С. Борисенко, С.С. Двуреченской, В.Г. Хомичу, Л.А. Филипповой. Необходимо особо отметить сотрудников аналитических служб Института ЦЛ ПГО «Севостокгеология» (г. Магадан) и всех принимавших участие в подготовке диссертации.

Огромную благодарность выражаю моему научному руководителю, доктору геол.-мин. наук Рансе Григорьевне Кравцовой, совместная работа с которой, постоянные консультации и помощь были неоценимы при проведении исследований и написании диссертации.

Диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 08-05-00272 и № 11-05-00214).

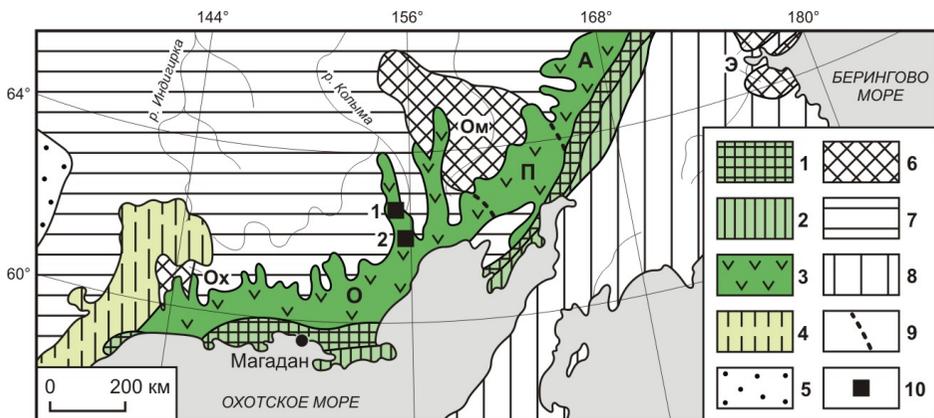
## ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Структурно-геологические особенности.** Изученные объекты в структурном отношении располагаются в Охотском секторе внешней Au-Ag зоны ОЧВП и приурочены к Балыгычано-Сугойскому прогибу, который является крупной линейной структурой, поперечной по отношению к поясу (**рис. 1**). В строении прогиба участвует ряд крупных вулканотектонических структур, к которым приурочены рудные узлы. Наиболее крупными являются Дукатский и Пестринский (Дукатская и Пестринская Au-Ag РМС), металлогенически специализированные на Au, Ag, Pb и Sn. Дукатская Au-Ag РМС, в пределах которой были проведены исследования, располагается в центральной части прогиба, Пестринская Au-Ag РМС – в южной. Основными типами минерализации здесь являются Au-Ag, Ag-Pb и Sn-Ag. Реже встречается Sn-W и Mo-W.

Фундамент прогиба сложен морскими терригенными осадками верхоянского комплекса (пермь-юра). Формирование прогиба является длительным. Для начальной стадии характерен кислый вулканизм, продукты которого, калиевые риолиты и риодациты, объединены в аскольдинскую свиту нижнего мела. Выше по разрезу они перекрываются угленосной молассой нижнемеловой омсукчанской свиты. Затем происходит формирование верхнемеловых эффузивов – андезитов и туфов андезитов каховской свиты. Заключительная стадия вновь характеризуется процессами кислого вулканизма. Эффузивы представлены верхнемеловыми риолитами, игнимбритами и туфами риолитов шороховской свиты. В раннем палеогене формируются дайки и маломощные покровы базальтов.

Из интрузивных образований прогиба наиболее проявлены позднемеловые гранитоиды омсукчанского комплекса. Их геологическое строение и вещественный состав рассмотрены в работах (Матвеевко, 1957; Руб, 1970; Политов, 1972; Умитбаев, 1986; Соболев, 1979; Соболев, Колесниченко, 1979; Захаров и др., 2002). Многофазные раннемеловые гранитоидные

интрузии быстринского комплекса широкого распространения не имеют. Более подробно структурная, геологическая и металлогеническая характеристики Балыгчано-Сугойского прогиба рассмотрены в работах (Умитбаев, 1986; Константинов и др., 1998; Кузнецов, Ливач, 2005; Савва, 2005; Стружков, Константинов, 2005 и др.).



**Рис. 1.** Схема тектонического и металлогенического районирования центральной и южной частей ОЧВП (1-4) по (Белый, 1994; Металлогеническая карта..., 1994; Стружков, Константинов, 2005). 1, 2 – внутренняя зона, подзоны: 1 – унаследованная (золото-серебро-медно-порфировая), 2 – новообразованная (золото-серебро-медно-молибден-порфировая); 3 – внешняя зона (золото-серебряная), секторы: О – Охотский, П – Пенжинский, А – Анадырский; 4 – фланговая Западно-Охотская зона (золото-порфировая); 5 – Сибирская платформа; 6 – дорифейские срединные массивы (Ох – Охотский, Ом – Омолонский, Э – Эскимосский); 7 – Верхояно-Чукотская складчатая область (мезозойды); 8 – Корякско-Камчатская складчатая область (кайнозойды); 9 – границы секторов внешней зоны ОЧВП; 10 – объекты исследования на территории Балыгчано-Сугойского прогиба: 1 – Дукатская Au-Ag РМС, 2 – Пестринская Au-Ag РМС.

**Минералого-геохимический состав пород и руд.** Металлогения Дукатской и Пестринской Au-Ag РМС обусловлена разноэтапными процессами позднемоловое магматизма и гидротермальной деятельности. Рудная минерализация и эндогенные геохимические поля концентрирования (ГПК) этих рудообразующих систем связаны, главным образом, с двумя этапами – пневматолитовым и гидротермальным (Кравцова и др., 1996, 1998, 2003; Kravtsova, 2006; Кравцова, 2010). За пределами РМС по всей площади Балыгчано-Сугойского прогиба широким развитием пользуются касситерит-силикатные (Sn-Q) руды и связанные с ними АГХП (Пляшкевич Л., 1986; Пляшкевич А., 2002; Приставка и др., 2005).

В пневматолитовый этап происходит формирование Mo-W и Sn-W минерализации. Начало гидротермального этапа характеризуется процессами площадной пропилитизации, с которыми тесно ассоциирует непромышленная сульфидно-полиметаллическая (Pb-Zn) минерализация, т.н. зоны рассеянной сульфидной минерализации (ЗРСМ). С дальнейшим развитием РМС связаны более поздние гидротермально-измененные породы (кварц-эпидот-хлоритовые, кварц-хлорит-серицитовые, кварц-адуляр-серицитовые и кварц-серицит-гидрослюдистые метасоматиты), вмещающие Sn-Ag, Ag-Pb, Au-Ag и преимущественно Ag оруденение. При этом на площади Пестринской РМС, в основном, проявлено Sn-Ag и Ag-Pb оруденение, Дукатской РМС – Au-Ag и преимущественно Ag. В плане металлогении этих РМС преобладает явная специализация на Ag.

Длительный и сложный характер развития Дукатской и Пестринской Au-Ag РМС приводит не только к значительному разнообразию рудной минерализации, но и, как следствие, к еще большему разнообразию связанных с оруденением эндогенных ГПК. Эндогенные ГПК рассматриваемых РМС относятся к магматогенным (Таусон, 1983). Sn-W ГПК формируются в рамках пневматолитового, а Pb-Zn, Sn-Ag, Ag-Pb, Au-Ag и Ag ГПК – гидротермального этапов. Как было установлено ранее (Кравцова, Степина, 1992; Кравцова, Захаров, 1996; Кравцова и др., 1996; Кравцова и др., 2003; Kravtsova, 2006; Кравцова, 2010), в развитии рудной минерализации и связанных с ней эндогенных ГПК отчетливо проявлена зональность. В обобщенном вертикальном разрезе Ag и Au-Ag ГПК сменяются с глубиной Ag-Pb и Sn-Ag, затем Pb-Zn. На более глубоких горизонтах, в эндо- и экзоконтактных зонах гранитоидов, появляются Sn-W и Mo-W ГПК.

**Методика проведения съемок 1:200 000 и 1:50 000 м-бов по ЛПР.** Разномасштабные съемки по ЛПР проводились согласно общепринятой методике (Инструкция..., 1983). Основываются они на систематическом точечном отборе проб из аллювиальных отложений современной гидросети с поверхности в пределах сухой части русла. Отбирались песчано-гравийная, песчаная, либо песчано-илистая фракции аллювия. Вес пробы составлял 200-300 г. После ее сушки отсеивалась фракция < 1 мм. Истирание производилось механическим путем до состояния пудры – 0.074 мм (200 меш).

При геохимической съемке *1:200 000 м-ба* маршруты начинались в 50-100 м выше устьев опробуемых водотоков, с шагом отбора проб 500 м, а в конечных точках, в устьях водотоков I порядка, сдвоенных проб на расстоянии 20-30 м одна от другой. При проведении съемки *1:50 000 м-ба* маршруты начинались в 50-100 м выше устьев опробуемых водотоков старших порядков и заканчивались по мере возможности отбора проб по ручьям I порядка. Шаг пробоотбора составлял 200-250 м.

**Методы анализа.** Анализы были выполнены в лабораториях Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) и в Центральной лаборатории ПГО «Севостокгеология» (г. Магадан). Все пробы прошли спектральный приближенно-количественный атомно-эмиссионный анализ на широкий круг элементов (Эмиссионный спектральный..., 1976). Зола мхов и аллювий, а также их контроль анализировались методами количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа (Васильева, Шабанова, 2005; СТП ИГХ-020-2007..., 2007). Au во всех пробах определялись атомно-абсорбционным (Торгов, Хлебникова, 1977; Торгов и др., 1983), а Hg – атомно-флуоресцентным (Methods of Analyses:..., 1989) методами. Для изучения литохимической составляющей золы мхов была использована методика электронно-зондового микроанализа (метод РСМА), специально разработанная для определения состава гипергенных образований (Павлова, Кравцова, 2006). Исследование проводилось с помощью микроанализатора JXA-8200, JEOL Ltd, Tokyo, Japan.

**Методы математической обработки информации.** При обработке аналитических данных применялся ряд традиционных, общепринятых методов математической статистики: корреляционный анализ, графики распределения элементов, средние содержания (фон), градиенты концентраций, различные индикаторные отношения. Подсчитывались дисперсия, среднеквадратичные отклонения, коэффициенты вариаций и т.д. Для этой цели использовался пакет прикладных программ АСОД (Surfer, Excel, Grapher и др.).

Изучение экзогенных АГХП, выявленных по ЛПР, построение моно- и полиэлементных геохимических карт (схем распределения ассоциаций элементов) осуществлялось с помощью метода многомерных полей (метод МП). Метод отличается оперативностью и малой трудоемкостью, т.к. основные операции по анализу АГХП и построению карт выполняются автоматизировано с применением компьютерных технологий (Китаев и др., 1973; Евдокимова, 1978, 1984; Китаев, 1990; Кравцова, Вавилова, 2000).

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

### Первое защищаемое положение

При региональном прогнозе золото-серебряного оруденения в условиях зон криолитогенеза, в горных районах Северо-Востока России (Балыгычано-Сугойский прогиб) эффективно использование площадных геохимических съемок по ЛПР 1:200 000 масштаба. Для них характерна простота, экспрессность, относительная глубинность, возможность быстро получить информацию о геохимических особенностях и металлогении района в целом.

При прогнозе рудной минерализации основным методом, позволяющим оценивать значительные площади, является геохимическая съемка по ЛПР 1:200 000 м-ба. Она лучше всего отвечает задаче опознания слабо изученных территорий в короткие сроки и с минимальными затратами, дает информацию о металлогении и геохимических особенностях района в целом, позволяет установить общие закономерности в размещении экзогенных АГХП и выделить перспективные в отношении рудоносности участки.

Региональные съемки 1:200 000 м-ба были проведены в пределах центральной части Балыгычано-Сугойского прогиба (лист Р-56-ХII и Р-56-ХVIII), где расположена Дукатская Au-Ag РМС, а также на территории южной части прогиба (нижняя часть листа Р-56-ХVIII и верхняя часть листа Р-56-ХХIV), где расположена Пестринская Au-Ag РМС.

Для Дукатской и Пестринской Au-Ag РМС и связанных с ними рудных объектов характерна многометалльность, хорошо отражающаяся в составе и строении эндогенных ГПК (Кравцова, Захаров, 1996, Кравцова и др., 1996, 2003; Кравцова, 2010). То же самое, но в более общей форме, относится и к экзогенным АГХП, выявленным по ЛПР при съемке 1:200 000 м-ба.

В пределах Дукатской РМС высококонтрастные и контрастные экзогенные АГХП образуют As (350/175)\*, Pb (1500/150), Sb (25/125), Bi (10/100) и Ag (7.5/75). Поля средней контрастности характерны для Zn (1500/30), Sn (40/20), Cd (4/20) и В (150/15). В виде низкоконтрастных АГХП проявлены Mn (5000/10), Cu (80/8), Mo (8/8), W (10/5). Крайне слабо при съемках 1:200 000 м-ба проявлены аномалии такого главного для Au-Ag минерализации элемента, как Au (0.02/4). За пределами РМС идет смена позиций элементов в ранжированном ряду. Высококонтрастные и контрастные экзогенные поля характерны для As (750/375), Bi (22.5/225), Sb (25/125) и Sn (100/50). Среднеконтрастные поля установлены для Pb (450/45), В (350/35), Ag (3/30), Zn (1500/30), W (40/20) и Cd (4/20). Низкой контрастностью обладают АГХП Mo (8/8), Cu (80/8), Mn (4000/8) и Au (0.02/4). Hg в потоках рассеяния всей изученной территории отмечаются лишь в единичных точках (0.01/2).

В рамках Пестринской РМС высококонтрастные поля характерны для As (750/375), Bi (35/350), Sn (250/125) и Sb (25/125). Среднеконтрастными АГХП обладают Pb (350/35), В (350/35), Ag (3/30), Zn (1500/30), Cd (4/20) и Cu (150/15). В виде низкоконтрастных полей проявлены Mo (8/8), W (16/8) и Mn (1500/3). Au и Hg фиксируются только близфоновыми полями (0.01/2). За пределами РМС высококонтрастными и контрастными АГХП обладают As (350/175), Sb (25/125), Sn (150/75) и Bi (7.5/75). Поля средней контрастности имеют В (350/35), Ag (3/30), Cd (4/20), W (36/18), Pb (150/15), Zn (750/15), Cu (150/15) и Au (0.075/15). Низкая контрастность установлена для АГХП Mo (8/8), Hg (0.03/6) и Mn (1500/3).

Метод обладает относительной глубинностью. В ЛПР фиксируются не только элементный состав АГХП тех интервалов месторождений и рудопроявлений, которые выходят на современную поверхность, но и, в ряде случаев, состав более глубоких горизонтов, что является результатом эрозионной деятельности водотоков.

---

\*Здесь и далее – в числителе даны средние содержания элементов (в г/т), в знаменателе – средние значения их коэффициентов контрастности (КК), определенные в контурах полей максимальных концентраций.

При определении типоморфного состава экзогенных АГХП (ассоциаций элементов) и закономерностей их распределения в пространстве показательными являются полиэлементные геохимические карты. Установлено, что выявленная на этой основе региональная экзогенная геохимическая зональность в общих чертах отражает металлогеническую зональность района в целом. Наглядный пример – полиэлементная карта центральной части Балыгычано-Сугойского прогиба (**рис. 2**).

В пределах Дукатской РМС, в южной ее части, локальное развитие имеет преимущественно Ag ассоциация элементов, связанная с Au-Ag месторождением Дукат. Относительно высокие содержания здесь типичны для Ag, Pb и As. В меньшей степени проявлены такие элементы, как Bi, Zn, Mn, Sn и Cu.

Затем Ag АГХП сменяется более широкими Ag-Pb полями. В основном они связаны с Au-Ag и Ag-Pb объектами Дукатской РМС. Основной типоморфный состав Ag-Pb АГХП: Pb, As, Ag, Zn, В и Mn.

На смену Ag-Pb АГХП приходят Sn-Ag. По сравнению с Ag-Pb они выявлены в рамках Дукатской РМС вблизи ее границ и севернее. Наибольшие содержания характерны для As, Bi, Sn, Ag, Zn, Cu.

Sn-W АГХП развиты только за пределами Дукатской РМС, к востоку от нее. Поля имеют сравнительно небольшие размеры и приурочены к объектам Sn-Q формации, где оруденение часто сопровождается Mo-W минерализацией. Аномальные концентрации здесь типичны для Bi, As, Sn, W, В, Mo, Pb, Zn, Cu, Ag.

Sn АГХП, связанные с рудами Sn-Q формации, имеют значительные размеры и достаточно широкое распространение по площади. Развита она за пределами Дукатской РМС, в основном к востоку от нее. Приурочены Sn ассоциации к месторождениям и рудопроявлениям Sn-Q и Sn-W формаций. Аномальные содержания характерны для Sn, Bi, As, В, W, Zn, Cu, Mo и Pb.

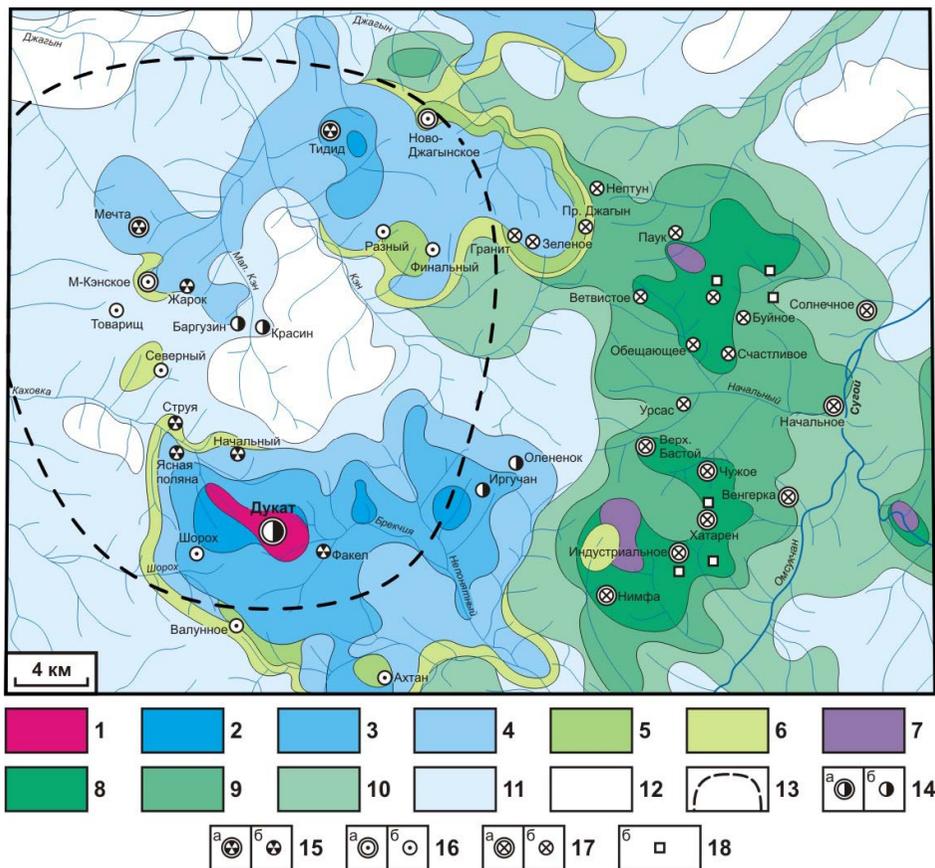
По результатам съемки 1:200 000 м-ба по ЛПП на изученной площади отчетливая металлогеническая специализация проявлена только на Ag, Pb и Sn. Для Дукатской Au-Ag РМС главными элементами являются Ag и Pb, для всей остальной территории – Sn. Специализация на Au не установлена (**рис. 3**).

АГХП Au обладают весьма низкой контрастностью ( $<0.03$  г/т, КК $<6$ ). Они распространены как на Au-Ag объектах, так и на месторождениях и рудопроявлениях других рудных формаций. Все это приводит к трудностям выделения Au-Ag АГХП даже в пределах уже известных рудных объектов, например, таких как Au-Ag месторождение Дукат.

Помимо АГХП Au затруднена интерпретация полей и некоторых других элементов. Например, в ряде случаев на Ag-Pb объектах низкие содержания характерны для АГХП Pb и В – элементов-индикаторов этого типа минерализации. В то же время высокие концентрации В установлены в Sn-Ag, Sn-W и Mo-W полях, для которых он нетипичен. Низкая контрастность в ЛПП характерна для Sn на Sn-Ag объектах. Hg, как один из элементов-индикаторов Au-Ag и Ag-Pb оруденения, фиксируется либо АГХП очень низкой контрастности, либо вовсе единичными точками.

По сравнению с эндогенными полями, экзогенные АГХП, выявленные в результате проведения мелкомасштабной площадной съемки по ЛПП, не только относительно бедны по своему качественному составу, наблюдается также, в ряде случаев, нарушение и количественных взаимоотношений. Все вышеперечисленные недостатки в значительной степени осложняют изучение состава, строения и масштабов развития экзогенных АГХП. В результате затрудняется типизация аномалий, выявление зональности, менее эффективной становится оценка их рудно-формационной принадлежности.

Очевидно, что при интерпретации подобных аномалий необходима разработка дополнительных критериев.

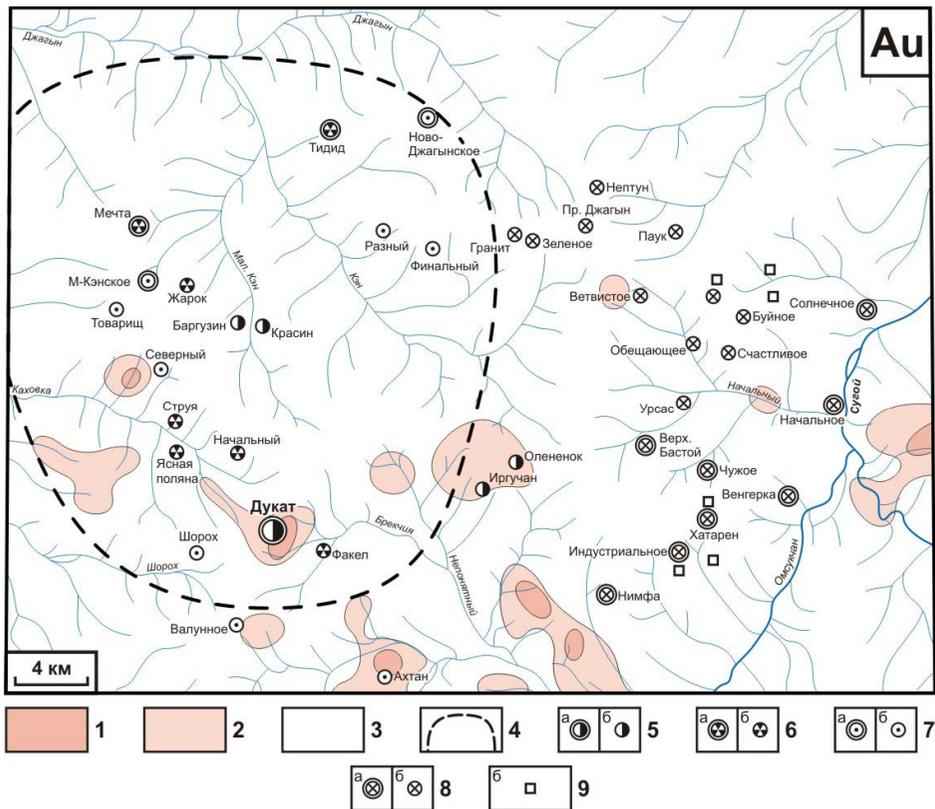


**Рис. 2.** Дукатская Au-Ag РМС и сопряженная с ней площадь. Экзогенные полиэлементные АГХП, выявленные по ЛПР при съемке 1:200 000 м-ба.

**Полиэлементные экзогенные АГХП (1-12):** Преимущественно Ag (1), Ag-Pb (2-4), Sn-Ag (5, 6), Sn-W (7), Sn (8-10), ЗРСМ (11), фоновые и близфоновые (12).

**Ассоциации элементов:** **1** – Ag (6.2/62) Pb (590/59) As (80/40) Bi (1.4/14) Zn (650/13) Mn (4000/8) Sn (14/7) Cu (60/6), **2** – Pb (850/85) As (110/55) Ag (3.0/30) Zn (800/16) Bi (1.5/15) Sn (14/7) Mn (2000/4), **3** – As (150/75) Pb (450/45) Bi (3.5/35) Zn (600/12) Ag (1.0/10) Sn (18/9) В (40/4) Mn (2000/4), **4** – As (130/65) Bi (3.5/35) Pb (300/30) Zn (450/9) Ag (0.8/8) Sn (10/5) В (40/4) Mn (1500/3), **5** – As (190/95) Bi (6.3/63) Sn (44/22) Pb (180/18) Ag (1.7/17) Zn (600/12) Cu (70/7) В (70/7), **6** – As (110/55) Bi (3.3/33) Sn (20/10) Pb (100/10) Zn (400/8) Ag (0.6/6) В (60/6) Cu (40/4), **7** – Bi (5.2/52) As (100/50) Sn (100/50) W (40/20) В (130/13) Mo (8/8) Pb (70/7) Zn (350/7) Cu (50/5), **8** – Sn (130/65) Bi (5.9/59) As (90/45) В (180/18) W (16/8) Zn (300/6) Cu (60/6) Mo (5/5) Pb (50/5), **9** – As (90/45) Bi (3.9/39) Sn (42/21) В (160/16) Zn (300/6) W (10/5) Mo (5/5) Cu (50/5) Pb (50/5), **10** – As (80/40) Bi (3.5/35) В (100/10) Sn (16/8) Zn (250/5) Pb (40/4) W (6/3) Mo (3/3) Cu (30/3), **11** – As (40/20) Bi (0.8/8) Sn (12/6) Zn (250/5) Pb (40/4) Cu (30/3) Ag (0.3/3) В (30/3), **12** – низкоконтрастные ассоциации элементов в основном Pb, Zn, Cu, Ag (средние значения КК не больше 3).

**13** – границы Дукатского рудного узла (Стружков, Константинов, 2005); **14-18** – месторождения (а) и рудопоявления (б): **14** – золото-серебряные, **15** – серебро-полиметаллические, **16** – олово-серебряные, **17** – касситерит-силикатные, **18** – олово-редкометалльные и редкометалльные.



**Рис. 3.** Дукатская Au-Ag РМС и сопряженная с ней площадь. Экзогенные АГХП золота, выявленные по ЛПР при съемке 1:200 000 м-ба. 1-3 – содержание Au (г/т): 1 – 0.01-0.03, 2 – 0.004-0.01, 3 – 0.004 и менее; 4 – границы Дукатского рудного узла (Стружков, Константинов, 2005); 5-9 – месторождения (а) и рудопроявления (б): 5 – золото-серебряные, 6 – серебро-полиметаллические, 7 – олово-серебряные, 8 – касситерит-силикатные, 9 – олово-редкометалльные и редкометалльные.

### Второе защищаемое положение

На стадии локального прогноза, при поисках рудной минерализации на территории Балыгычано-Сугойского прогиба (Северо-Восток России) эффективно проведение геохимических съемок по ЛПР 1:50 000 масштаба. Выявленные в результате этих съемок экзогенные АГХП достаточно полно согласуются с составом и строением месторождений, хорошо отражают их рудно-формационную принадлежность и уровень эрозийного среза эродируемых и дренируемых рудных зон и участков.

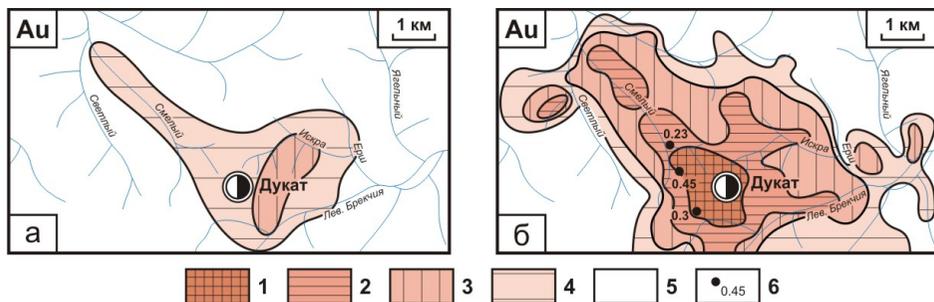
Геохимическая съемка 1:50 000 м-ба по ЛПР в рамках Дукатской Au-Ag РМС проводилась на площади бассейнов рек Брекчия, Каховка, Кэн и Мал. Кэн. Данные водотоки дренируют основные рудные объекты РМС: Au-Ag месторождения и рудопроявления (Дукат, Баргузин, Красин), Ag-Pb (Мечта, Тидид, Жарок) и Sn-Ag (Мало-Кэнское, Разный, Финальный). В рамках Пестринской Au-Ag РМС такая съемка была проведена на площади, расположенной в верхнем течении реки Тап (бассейн р. Вилига). Здесь расположены

основные водотоки, дренирующие рудные объекты, типичные для рассмотренной РМС. Это Ag-Pb месторождения и рудопроявления (Гольцовое, Олимп), Sn-Ag (южный фланг Гольцового), Sn-W (Кальян), Mo-W (Пестринское) и Sn-Q (Верхне-Тапское и Вьюн).

Выявлены экзогенные АГХП всех элементов, которые ранее были установлены для эндогенных ГПК, характеризующих все известные на изученной площади типы рудной минерализации (Кравцова, Захаров, 1996; Кравцова, 2010). В рамках Дукатской РМС высококонтрастные экзогенные АГХП образуют As (до 7500/3750), Pb (до 3500/350), Sb (до 65/325), Ag (до 17.5/175) и Sn (до 300/150). Контрастные аномалии характерны для Bi (до 7.5/75) и Hg (до 0.3/60), среднеконтрастные – для Cd (до 8/40), Cu (до 400/40), Mo (до 35/35), Au (до 0.15/30), Zn (до 1500/30), Mn (до 7500/15) и В (до 150/15). W, в связи с практически полным отсутствием редкометалльных проявлений, в ЛПР не проявлен. Изучение экзогенных АГХП, выявленных по ЛПР в рамках Пестринской РМС, показало, что наиболее значительные по масштабам развития и контрастности поля аномальных концентраций образуют As (до 400/200), Sn (до 150/75), Bi (до 6.5/65) и Hg (до 0.3/60). АГХП средней контрастности установлены для Ag (до 3.0/30), Pb (до 250/25), В (до 250/25) и Cu (до 150/15), низкоконтрастные – для Zn (до 400/8), Mo (до 7/7) и W (до 6/3). Практически не проявлены Mn (до 1000/2) и Au (до 0.005/1). Отсутствие АГХП Au объясняется более значительным уровнем эрозии зон и участков Пестринской РМС по сравнению с Дукатской.

Выявленные по ЛПР при съемке 1:50 000 м-ба экзогенные АГХП являются более значительными по масштабам, составу и контрастности в отличие от тех, которые были установлены при региональных съемках 1:200 000 м-ба. Все это обусловлено тем, что при проведении съемок 1:50 000 м-ба, кроме крупных рек и ручьев, опробуются еще и более мелкие водотоки I и II порядка, которые являются наиболее информативными. Опробование же вершин водотоков при рекомендуемом взятии двохенных проб в устьях ручьев II, реже I порядков при проведении геохимической съемки 1:200 000 м-ба (Инструкция..., 1983) в условиях криолитогенеза не дает положительных результатов.

Эффективность опробования водотоков низких порядков, установленную при разномасштабном геохимическом картировании, можно рассмотреть на примере уровня концентраций Au в ЛПР Дукатского Au-Ag месторождения (рис. 4).

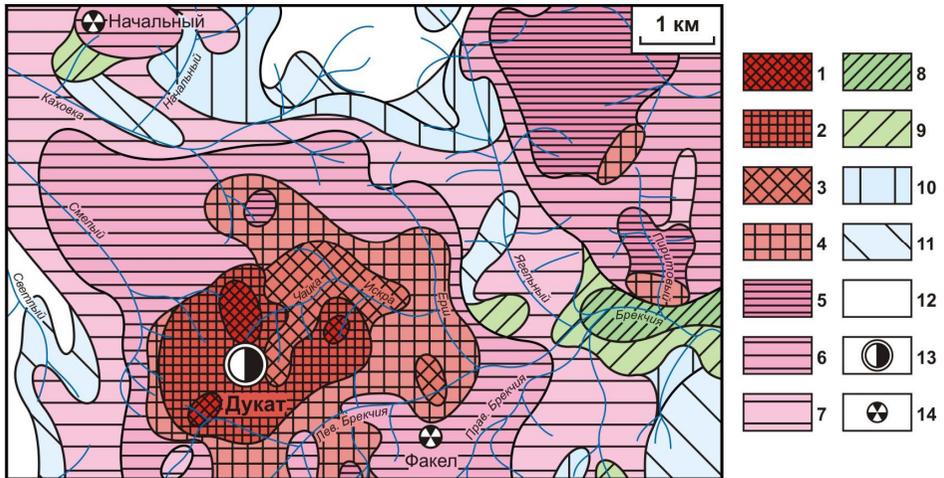


**Рис. 4.** Au-Ag месторождение Дукат. Экзогенные АГХП золота, выявленные по ЛПР при съемках 1:200 000 (а) и 1:50 000 (б) м-бов. 1-5 – содержание Au (г/т): 1 – 0.1-0.2, 2 – 0.02-0.1, 3 – 0.01-0.02, 4 – 0.005-0.01, 5 – 0.005 и менее; 6 – точки максимальных содержаний Au (г/т).

На рисунке 4 показаны результаты опробования водотоков I и II порядков, полученные при съемке 1:200 000 м-ба (рис. 4 а) и данные, полученные при съемке 1:50 000 м-ба (рис. 4 б). Отчетливо видно различие в составе и строении АГХП. Монополя Au на стадии регионального прогноза (геохимическая съемка по ЛПР 1:200 000 м-ба) характеризуются крайне низким содержанием этого элемента, которое не превышает 0.02 г/т (КК<4). После проведения более детальной поисковой съемки по ЛПР 1:50 000 м-ба, когда

опробуются водотоки I порядка, а пробы отбираются через 200–250 м, концентрации Au в монополях, а следовательно и контрастность, увеличиваются на порядок (до 0.45 г/т).

Наглядное представление о составе и строении АГХП, которые были выявлены при съемке по потокам рассеяния, дают полиэлементные геохимические карты (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** Дукатская ВП Au-Ag РМС (фрагмент). Экзогенные полиэлементные АГХП, выявленные по ЛППР при съемке 1:50 000 м-ба. Южная часть площади съемки.

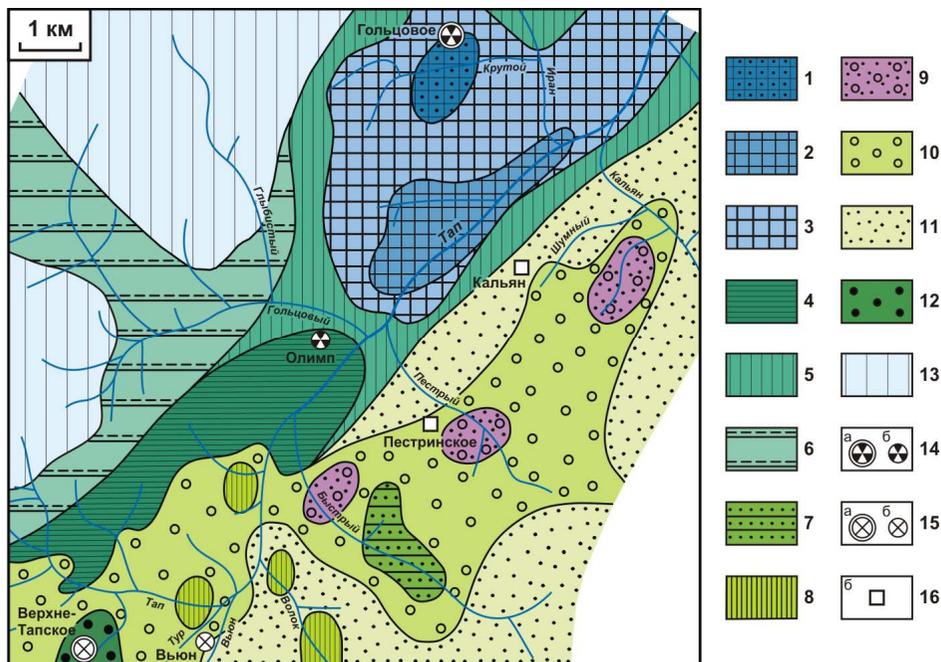
**Полиэлементные АГХП (1-12):** Au-Ag (1-4), Ag-Pb (5-7), Sn-Ag (8, 9), ЗРСМ (10, 11), фоновые и близфоновые (12).

**Ассоциации элементов:** **1** – Ag (60/600) Pb (2000/200) Sb (30/150) Hg (0.3/60) Au (0.16/32) As (50/25) Mo (6/6) Mn (2500/5), **2** – Ag (11.5/115) Pb (800/80) As (100/50) Hg (0.2/40) Au (0.1/20) Mo (5/5) Mn (2000/4), **3** – Pb (1400/140) Ag (9.8/98) As (100/50) Hg (0.1/20) Au (0.055/11) Mo (7/7) Mn (2500/5), **4** – Pb (600/60) As (110/55) Ag (4.8/48) Hg (0.08/16) Mo (5/5) Au (0.02/4), **5** – As (390/195) Sb (30/150) Pb (1300/130) Ag (7/70) Hg (0.06/12) Zn (500/10) B (70/7) Mn (1500/3), **6** – Pb (300/30) As (50/25) Ag (2.4/24) Zn (300/6) Hg (0.02/4) B (40/4) Mn (1500/3), **7** – As (30/15) Ag (1/10) Pb (60/6) Zn (150/3), **8** – Pb (340/34) Sn (66/33) Ag (3/30) As (50/25) Bi (1.7/17) Cu (160/16) Zn (600/12) B (80/8), **9** – Ag (2.8/28) As (40/20) Sn (28/14) Cu (80/8) Pb (80/8) Zn (350/7) Bi (0.6/6) B (60/6), **10** – As (20/10) Pb (40/4) Zn (150/3) Bi (0.3/3), **11** – Pb (40/4) Ag (0.3/3) Bi (0.3/3), **12** – низкоконтрастные ассоциации элементов Pb, Zn, Cu, Bi, Ag (КК не больше 3). **13** – Au-Ag месторождение, **14** – Ag-Pb рудопроявления.

На примере южной части Дукатской ВП Au-Ag РМС, где расположено Дукатское Au-Ag месторождение, отчетливо видна эффективность полиэлементных геохимических карт (рис. 5). То же самое в полной мере можно сказать и о картах, построенных для Пестринской ВП Au-Ag РМС (рис. 6).

Установлено, что по основному компонентному составу и контрастности полей все типы минерализации, известные в рамках изученной площади, более достоверно устанавливаются при проведении съемки по ЛППР 1:50 000 м-ба в сравнении со съемкой 1:200 000 м-ба. Что важно – выявлен Au-Ag тип АГХП (рис. 5). Экзогенные АГХП наиболее полно согласуются с составом и строением эродированных и дренируемых рудных объектов, а повышенные концентрации элементов в русловых отложениях, в большинстве случаев, находятся в прямой зависимости от наличия и типа рудной минерализации. Более достоверным становится выявление самих аномалий, масштабов их развития, а также установление экзогенной геохимической зональности, которая является отражением эндогенной.

Съемки 1:50 000 м-ба позволяют дать оценку уровня эрозионного среза дренируемых водотоками рудных зон и участков. Рассмотрим это на примере Пестринской РМС (рис. 6).



**Рис. 6.** Пестринская ВП Au-Ag РМС (фрагмент). Эзогенные полиэлементные АГХП, выявленные по ЛПР, съемка 1:50 000 м-ба. Использованы материалы Р.Г. Кравцовой и др. (1996).

**Полиэлементные АГХП (1-13):** Ag-Pb (1-3), Sn-Ag (4-6), Sn-W и Mo-W (7-11), Sn (12), ЗРСМ (13).

**Ассоциации элементов:** **1** – Ag (4.0/40) Hg (0.2/40) Pb (200/20) В (130/13) Mn (1500/3), **2** – As (100/50) Ag (3.0/30) Hg (0.1/20) Pb (160/16) В (100/10) Bi (0.6/6) Zn (200/4) Sn (6/3), **3** – Ag (1.0/10) Hg (0.05/10) В (80/8) Pb (60/6) Bi (0.3/3), **4** – As (500/250) Bi (2.0/20) Pb (160/16) Sn (30/15) Ag (0.8/8) В (80/8) Cu (60/6), **5** – Pb (80/8) В (60/6) Ag (0.6/6) Sn (10/5) Bi (0.5/5), **6** – As (100/50) Ag (1.0/10) В (80/8) Sn (12/6) Bi (0.6/6) Pb (60/6), **7** – As (400/200) Bi (1.5/15) В (120/12) Sn (20/10) Mo (8/8) Ag (0.3/3), **8** – Bi (6.0/60) As (100/50) Sn (50/25) В (120/12) Cu (60/6) Ag (0.5/5) W (6/3), **9** – As (100/50) Bi (2.0/20) Sn (20/10) Mo (9/9) В (80/8) W (12/6), **10** – As (50/25) Bi (1.5/15) В (100/10) Sn (16/8) Cu (60/6) Mo (5/5) W (6/3), **11** – Bi (2.0/20) As (30/15) Sn (24/12) В (100/10) Pb (60/6) Mo (4/4), **12** – As (500/250) Sn (200/100) Bi (1.7/17) Pb (160/16) Zn (400/8) Cu (80/8), **13** – В (40/4) Ag (0.3/3).

**14-16** – месторождения (а) и рудопроявления (б): 14 – серебро-полиметаллические, 15 – касситерит-силикатные, 16 – олово-редкометалльные и редкометалльные.

Пестринская РМС представляет собой в структурном отношении крупное интрузивно-купольное поднятие. Вдоль р. Тап проходит Верхне-Тапский глубинный разлом, который разделяет поднятие на два тектонических блока. По данным А.И. Калинина (1986) амплитуда смещения блоков составляет не менее 1 км. Юго-восточный блок поднят и глубоко эродирован. Здесь проявлена Sn-W (рудопроявление Кальян) и Mo-W (рудопроявление Пестринское) минерализация. В опущенном и слабо эродированном северо-западном блоке проявлено Ag-Pb оруденение и, в меньшей степени, Sn-Ag (Ag-Pb месторождение Гольцовое).

Полиэлементные экзогенные АГХП отчетливо отражают металлогеническую специализацию каждого из блоков и имеют хорошо выраженный зональный характер распределения в пределах каждого из них. Экзогенные Ag-Pb и Sn-Ag АГХП отчетливо тяготеют к левому борту р. Тап (северо-западный блок), в то время как Sn-W и Mo-W АГХП широко распространены по ее правому борту (эродированный юго-восточный блок). В северо-западном блоке в направлении от менее эродированных зон (Гольцовое) к более эродированным (левая вершина р. Тап) Ag-Pb АГХП сменяются Sn-Ag. В южном блоке, в правом верховье р. Тап, установлены Sn АГХП, которые приходят на смену Sn-W и Mo-W.

Несмотря на положительный результат по отношению к срезкам 1:200 000 м-ба, экзогенные АГХП, выявленные по ЛПР при съемке 1:50 000 м-ба, в сравнении с эндогенными ГПК, также характеризуются более бедным компонентным составом и относительно низкой контрастностью. Реже, но и здесь наблюдается нарушение качественных, а иногда и количественных взаимоотношений элементов.

Существуют еще два важных обстоятельства, затрудняющих проведение рекомендуемых среднemasштабных съемок: неопределенность в выборе места взятия аллювия при опробовании крупных водотоков (обычно III и IV порядков), ширина русла которых может достигать более чем 10 м, а ширина долин – более чем 1 км; отсутствие достаточного количества материала в вершинах рек и ручьев (водотоков I и II порядка), а именно мелкой фракции аллювия (песок, супесь, ил), концентрирующей большинство рудных элементов. Все это особенно актуально в зонах криолитогенеза, где основным процессом, формирующим ЛПР, считается физическое выветривание. В таких ситуациях необходима разработка дополнительных способов, позволяющих устранить выше названные отрицательные моменты.

### **Третье защищаемое положение**

**С целью более достоверного выявления аномалий при проведении разномасштабных площадных геохимических съемок по ЛПР эффективным является опробование крупных современных долин водотоков III и IV порядков по профилям, ориентированным вкрест их простираия. Установлено, что наиболее полное и точное представление о характере и особенностях распределения концентраций элементов в рыхлых отложениях крупных водотоков дает фракция < 0.25 мм.**

Исследование проводилось в пределах центральной части Дукатской Au-Ag РМС, в долинах рек Малый Кэн и Кэн и северной части Пестринской Au-Ag РМС, в долине реки Тап. Показано, что при изучении распределения элементов по долинам водотоков III и IV порядков выбор места опробования очень важен. Ширина таких современных речных долин может достигать сотен метров. Опробование традиционными способами вдоль русла либо двумя параллельными линиями маршрутов, расположенных вблизи подножия обоих бортов (Инструкция..., 1983), мало эффективно.

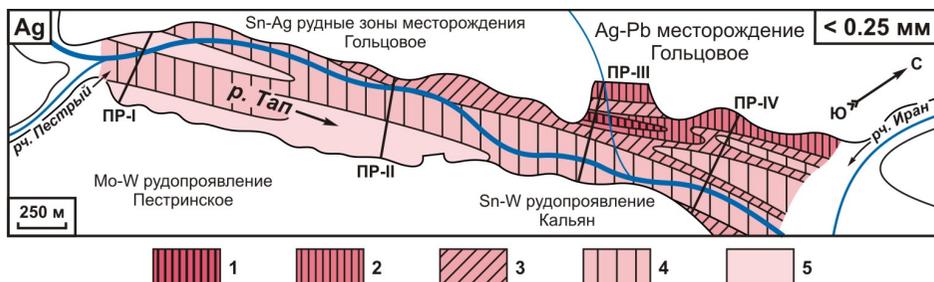
Установлено, что при разномасштабных геохимических съемках по ЛПР для наиболее достоверного выявления аномалий на участках развития крупных водотоков эффективным является опробование по профилям, размещенным вкрест простираия речных долин.

Методика заключалась в следующем. Профили размещались ниже устьев ручьев, дренирующих рудные объекты. Расстояние между профилями – 2-4 км. Отбор проб производился с поверхности в направлении от одного борта долины к другому. В пробу отбирался преимущественно песчано-листый материал рыхлых аллювиальных отложений. Шаг пробоотбора в зависимости от возможности отобрать пробу составлял 5-10 м по современному руслу, 10-30 м – по речной пойме. Вес пробы – 300-500 г. Все пробы высушивались и рассеивались на четыре фракции: < 1 (общая), 1-3 (крупная), 0.25-1 (средняя) и < 0.25 мм (мелкая). Истирание производилось механически, до состояния пудры – 0.074 мм (200 меш).

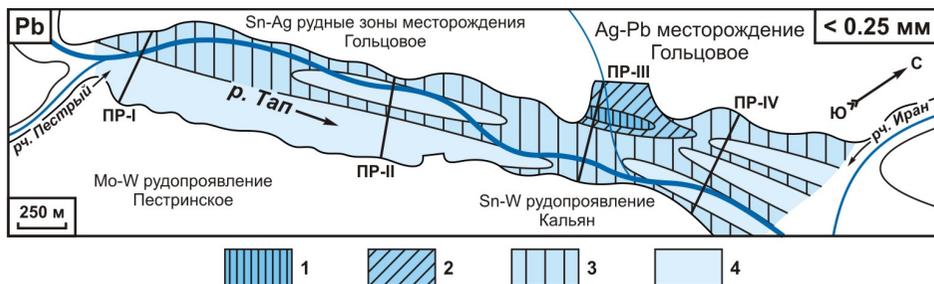
В качестве примеров, показывающих эффективность опробования по профилям, можно привести данные, полученные при литохимическом опробовании р. Тап (Пестринская Au-Ag

PMC). В распределении всех элементов-индикаторов преобладающих здесь Ag-Pb, Sn-Ag, Sn-W и Mo-W типов оруденения устанавливаются отчетливые закономерности. Ниже приведены примеры поведения в ЛПП р. Тап главных типоморфных элементов – Ag, Pb, Mo и W.

Ag и Pb достаточно хорошо проявлены и в общей поисковой (< 1 мм), и в мелкой (< 0.25 мм) фракциях аллювия. Тем не менее, максимальные концентрации для всех этих элементов установлены в мелкой фракции (рис. 7, 8): для Ag – до 60 г/т (КК=600), для Pb – до 300 г/т (КК=30). В общей поисковой фракции максимальные концентрации Ag достигают 40 г/т (КК=400), Pb – 200 г/т (КК=20).



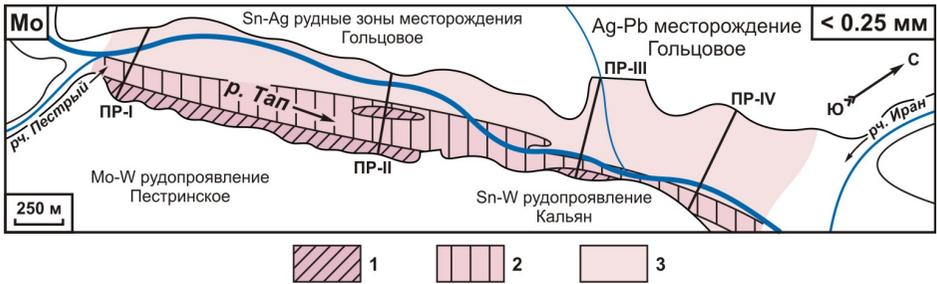
**Рис. 7.** Пестринская ВП Au-Ag PMC (фрагмент поймы р. Тап). Экзогенные АГХП серебра, выявленные по ЛПП по профилям I-IV (фракция < 0.25 мм). 1-5 – содержание Ag (г/т): 1 – 40-60, 2 – 20-40, 3 – 10-20, 4 – 5-10, 5 – 1-5.



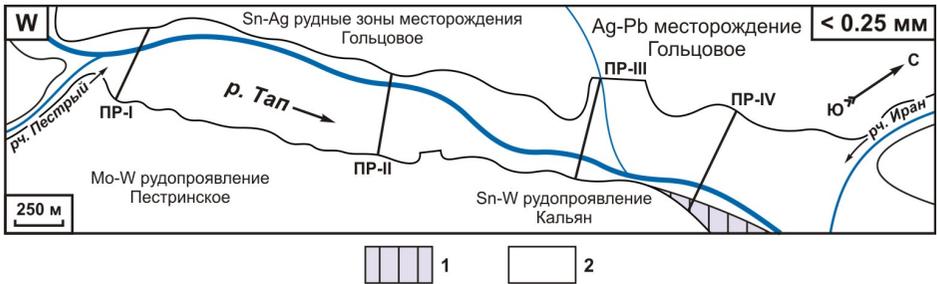
**Рис. 8.** Пестринская ВП Au-Ag PMC (фрагмент поймы р. Тап). Экзогенные АГХП свинца, выявленные по ЛПП по профилям I-IV (фракция < 0.25 мм). 1-4 – содержание Pb (г/т): 1 – 200-300, 2 – 100-200, 3 – 50-100, 4 – 30-50.

Несмотря на различия в уровнях содержания этих элементов, закономерности в их распределении сохраняются. АГХП наибольшей контрастности отчетливо приурочены к левому борту р. Тап, где на водоразделе между ручьями Гольцовый и Иран выходят Ag-Pb и Sn-Ag рудные зоны месторождения Гольцового. Следует заметить, что при отборе проб вдоль русла (съемка 1:50 000 м-ба) концентрации не превышают 3 г/т для Ag (КК=30) и 50 г/т для Pb (КК=5). Закономерности в их распределении не установлено.

Mo и W, как элементы-индикаторы Sn-W и Mo-W оруденения, проявлены по правому борту долины и только в мелкой фракции (рис. 9, 10). Содержание Mo достигает значений 10-20 г/т (КК=10-20), W – 4-6 г/т (КК=2-3). При этом аномалии Mo приурочены к верхней части потока (Mo-W рудопроявление Пестринское), а W – к нижней (Sn-W рудопроявление Кальян). Такая закономерность объясняется преобладанием Mo над W в первом случае и W над Mo во втором.



**Рис. 9.** Пестринская ВП Au-Ag РМС (фрагмент поймы р. Тага). Экзогенные АГХП молибдена, выявленные по ЛПП по профилям I-IV (фракция < 0.25 мм). 1-3 – содержание Mo (г/т): 1 – 10-20, 2 – 5-10, 3 – 3-5.



**Рис. 10.** Пестринская ВП Au-Ag РМС (фрагмент поймы р. Тага). Экзогенные АГХП вольфрама, выявленные по ЛПП по профилям I-IV (фракция < 0.25 мм). 1, 2 – содержание W (г/т): 1 – 4-6, 2 – 4 и менее.

Необходимо обратить внимание на то, что низкое содержание Mo было отмечено в общей фракции аллювия (< 1 мм) как по профилям (<10 г/т, КК<10), так и при съемке 1:50 000 м-ба (<6 г/т, КК<6). Аномальных содержаний W и в том и в другом случае не установлено.

По особенностям состава и строения экзогенные АГХП, выявленные по профилям, наиболее полно согласуются с эродируемыми и дренируемыми рудными объектами. Содержание элементов зависит от многих факторов – рельеф, разветвленность гидросети, масштабы и тип проявленной минерализации, морфология рудных тел и их положение в пространстве, преобладание физического выветривания над химическим и т.д. Тем не менее, распределение их в пространстве в целом закономерно. Контрастные АГХП тяготеют именно к тому водоразделу, в пределах которого есть рудная минерализация.

Кроме того, установлено, что наибольшие содержания основных элементов-индикаторов (Au, Ag, Hg, As, Sb, Pb, Zn, Cu, Mo, W, Sn, Bi, Mn, В) фиксируются непосредственно в общей (< 1 мм) и мелкой (< 0.25 мм) фракциях аллювия. Отбор материала мелкой фракции в долинах современных водотоков III и IV порядков не представляет каких-либо существенных трудностей, т.к. рыхлые отложения здесь хорошо сформированы, а мелкозем (так называемая «тяжелая» фракция) проявлен в значительных количествах.

Для получения наиболее полной информации при исследованиях по профилям целесообразно проводить отбор помимо общей фракции еще и мелкой. При проведении съемок 1:50 000 м-ба для наиболее эффективного выявления АГХП расстояние между профилями должно составлять 500-1000 м, расстояние между точками отбора проб – 5-10 м по руслу и 10-30 м – по пойме. Для съемок 1:200 000 м-ба целесообразным может быть размещение профилей через 1000-2000 м с шагом пробоотбора 50-100 м.

#### Четвертое защищаемое положение

**В верховьях водотоков, где рыхлые отложения полностью отсутствуют, но произрастают водные и полуводные мхи, положительный результат дают БЛПР, изучение которых заключается в отборе проб мхов совместно с илистой фракцией, прочно удерживаемой моховой подушкой. БЛПР являются неотъемлемой составной частью ЛПР, хорошо дополняют наше представление о составе и строении экзогенных АГХП и значительно повышают эффективность разномасштабных съемок по ЛПР.**

При проведении разномасштабных съемок по ЛПР на территории Северо-Востока России в условиях горного рельефа при отборе проб возникают определенные трудности. В зонах криолитогенеза, где основным процессом, формирующим ЛПР, считается физическое выветривание, верховья рек и ручьев часто выполнены сильно промытыми грубообломочными, реже плохо окатанными гравийно-галечными отложениями. Скопления мелкозема (песка, супеси, ила) в них либо отсутствуют, либо фрагментарны и проявлены на ограниченных участках. Потоки (аллювиальные отложения) в подобных условиях формируются при резком дефиците песчано-илистого материала, концентрирующего большинство рудных элементов.

В то же время по берегам и руслам в вершинах рек и ручьев на всем протяжении водотоков можно обнаружить моховые подушки. Произрастая в виде тесно переплетенных кустиков, мхи способны захватывать и прочно удерживать тонкие взвеси, илистый и песчано-илистый материал, переносимый водным потоком. Немаловажную роль в улавливании мелких частиц играют корнеподобные многоклеточные волоски, так называемые ризоиды, которые служат для прикрепления растения к субстрату. Все это вместе (мхи совместно с удерживаемым литохимическим материалом) образует БЛПР, являющиеся объектом опробования.

Разработанный бриолитохимический метод выявления аномалий основывается на отборе проб, в основном, полуводных мхов, произрастающих по берегам и руслам верховьев водотоков, совместно с тонкой фракцией, которая прочно удерживается моховой подушкой.

Отличие от ранее предложенных способов использования мхов для поисков рудных месторождений (Лапаев, 1979; Shacklette, 1984; Smith, 1986; Брукс, 1986; Erdman, Modreski, 1986), бриолитохимический метод имеет ряд преимуществ. В связи с более широким распространением по берегам и руслам полуводных мхов (гигрофитов), способных существовать долгое время практически без воды во временных водотоках, отобрать такую пробу значительно легче, чем пробу водных мхов. Особенно это актуально для водотоков I, а иногда и II порядка, которые в большинстве случаев являются временными.

Химический состав золы совместно с илистым материалом отражает состав не только речных вод, но и ЛПР. Вычисленная зольность бриолитохимических проб составляет в среднем 30-35%, что в несколько раз выше, чем зольность проб, очищенных от илистой фракции (5-15%). Вследствие этого при отборе проб мха совместно с литохимической частью требуется значительно меньшее количество материала. Содержание ила в озоленной бриолитохимической пробе составляет от 50% до 90%. Таким образом, БЛПР можно считать разновидностью ЛПР, их неотъемлемой составной частью. К тому же бриолитохимический метод лишен трудоемкой операции по отделению и тщательному очищению моховых подушек от аллювиального материала.

Методика проведенных работ по изучению БЛПР заключалась в следующем. Вдоль водотоков I и II порядков с шагом 100 м по руслу отбирались пробы, состоящие из полуводных мхов с трудно отделяемым литохимическим материалом – песчано-илистой фракцией. В тех же местах, где аллювий фрагментарно сформировался, с целью сравнения уровней содержания элементов, отбирались литохимические пробы, представленные песчано-гравийным материалом. Отбор мха проводился без определения его видовой принадлежности, но, в целом, все они принадлежали к подклассу бриевых мхов. Взятие в пробу сфагновых мхов считалось нецелесообразным в связи с их низкой зольностью, а также отсутствием ризоидов, что отрицательно сказывается на улавливании



**Таблица.** Дукатское Au-Ag месторождение, участок Чайка. Содержание золота (г/т) в бриолитохимических и литохимических пробах водотоков I порядка

Номера проб	1	2	3	Номера проб	1	2	3
<b>Ручей 1</b>				<b>Ручей 2</b>			
1	0.15	0.01	0.01	8	0.10	м/о	–
2	0.42	м/о	–	9	0.10	0.07	0.03
3	0.12	0.02	н/о	10	0.40	м/о	–
4	0.10	м/о	–	11	0.06	0.01	0.01
5	0.20	0.20	0.06	12	0.20	м/о	–
6	0.10	м/о	–	13	0.20	0.07	0.03
7	0.80	0.20	0.08	14	0.25	0.10	0.04

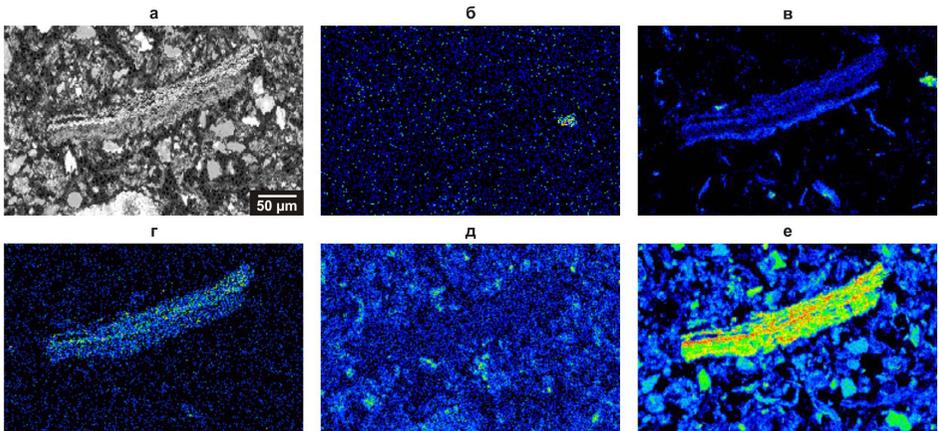
Примечание: 1 – бриолитохимические пробы (зола мхов с илистым материалом моховой подушки), 2 – литохимические пробы (песчано-илистый материал с моховой подушки), 3 – литохимические пробы, отобранные при проведении методических работ (песчано-гравийный материал аллювиальных отложений, фракция < 1 мм). Прочерк – пробы не отбирались, м/о – материал отсутствовал, н/о – не обнаружено.

В результате изучения поведения Au (одного из главных элементов-индикаторов Au-Ag типа минерализации), Ag и Pb (главных элементов-индикаторов Ag-Pb оруденения), а также некоторых второстепенных элементов-индикаторов в бриолитохимических пробах было установлено, что при проведении мелкомасштабного геохимического картирования и при интерпретации результатов площадных съемок, БЛПР можно рассматривать в качестве составной части ЛПР, а бриолитохимическое опробование, как альтернативу литохимическому. Предложенный метод позволяет не только вести опробование в вершинах рек и ручьев (водотоки I и II порядков), где нет хорошо сформированных аллювиальных отложений, но и получать более достоверную информацию о наличии или отсутствии аномалий.

Для изучения вещественного состава бриолитохимических проб был использован рентгеноспектральный микроанализатор JXA-8200, JEOL Ltd, Tokyo, Japan. Показано, что большая часть этих проб состоит из мелких (<100 мкм) частиц каменного материала и озоленных мхов. Преобладают тонкодисперсная (1-10 мкм), ультрадисперсная (0.1-1 мкм) и, по всей вероятности, коллоиднодисперсная (<0.1 мкм) составляющая. Представлена озоленная бриолитохимическая проба спекшимися агрегатами крайне сложного и неоднородного состава. Зернышки и коллоидоподобные скопления литофазы искусственно сцементированы в агрегаты с «кремненной» и «металлизированной» биофазой (**рис. 12 а**).

При изучении полированной поверхности образцов в режиме обратно рассеянных и вторичных электронов были выявлены частицы и включения разного вида, формы и размеров, в рентгеновских лучах – участки, содержащие Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, As, Bi, Fe, Mn и S. Обнаружено большое количество гидроксидов Fe, Pb, Zn и Mn, реликтов сульфидов Ag, микрочастиц и микропримесей Au и Ag, разрушенных мелких зернышек сфалерита, галенита, серусодержащие участки. На **рис. 12 а** хорошо видна «металлизированная» биофаза, имеющая удлинненную форму. На **рис. 12 б-е** показаны составы биофазы и окружающих ее участков.

Установлена связь состава БЛПР и форм нахождения (ФН) в них элементов-индикаторов с вещественным составом Au-Ag зон. Показано, что полуводные мхи являются эффективной природной ловушкой, позволяющей извлекать из водной взвеси современных водотоков тонкодисперсные и ультрадисперсные частицы. Предполагается, что при формировании БЛПР, даже в условиях криолитогенеза, где процессы физического выветривания считаются главными, значительная роль принадлежит химическим факторам.



**Рис. 12.** Размеры и формы частиц каменного материала и золы мхов (гигрофитов) в бриолитохимической пробе (а). Изображение дано в обратно рассеянных электронах. Распределение элементов (б-е): б – Au L $\alpha$ , в – S K $\alpha$ , г – Pb L $\alpha$ , д – Sb L $\alpha$ , е – Al K $\alpha$ . Изображение дано в рентгеновских лучах.

Эффективность использования БЛПР при прогнозе и поисках рудной минерализации, в нашем случае, в основном, Au-Ag и Ag-Pb, не вызывает сомнений. Бриолитохимический метод может иметь широкие перспективы использования на территории Северо-Востока России.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных комплексных геохимических работ по изучению экзогенных АГХП, выявленных по потокам рассеяния на территории Балыгычано-Сугойского прогиба (Северо-Восток России), были сделаны следующие основные выводы.

Площадные съемки 1:200 000 м-ба по ЛПР, проведенные в центральной и южной частях Балыгычано-Сугойского прогиба, хорошо отражают металлогеническую специализацию изученной территории на Ag, Pb и Sn. Они позволяют в относительно короткие сроки получить информацию о геохимических особенностях района и региональной зональности в целом.

Кроме достоинств съемки по ЛПР 1:200 000 м-ба имеют и существенные недостатки. Экзогенные АГХП, выявленные в результате таких съемок, обладают низкой контрастностью по сравнению с эндогенными полями. Установлено закономерное снижение контрастности полей, а также упрощение их компонентного состава в направлении: первичный ореол → вторичный ореол → поток рассеяния. В ряде случаев происходит нарушение качественных, а иногда и количественных связей между элементами.

В первую очередь это относится к такому основному элементу-индикатору Au-Ag оруденения, как Au. Аномалии Au являются либо низкоконтрастными, либо не обнаруживаются вовсе. Они распространены и на Au-Ag объектах, и на объектах других рудных формаций. Металлогеническая специализация района на Au не проявлена. Геохимические ассоциации элементов, типичные для Au-Ag АГХП, не выявлены.

Низкие концентрации в ЛПР установлены также для Hg – элемента-индикатора и Au-Ag, и Ag-Pb оруденения. Для ряда Sn-Ag месторождений низкой контрастностью обладают АГХП такого основного элемента-индикатора, как Sn. В ЛПР некоторых Ag-Pb объектов низкие содержания характерны для Pb и В – элементов-индикаторов Ag-Pb типа минерализации. Все это в значительной степени затрудняет выявление зональности, типизацию АГХП, оценку их рудно-формационной принадлежности и промышленной значимости.

Проведенные вслед за мелкомасштабными съемками среднемасштабные съемки по ЛПР 1:50 000 м-ба показали, что при интерпретации подобных аномалий в условиях зон криолитогенеза на стадии локального прогноза эффективным является опробование водотоков I порядка. Именно аллювиальные отложения верховьев водотоков характеризуется наибольшими концентрациями элементов, в первую очередь Au, и напрямую зависят от наличия и рудно-формационной принадлежности минерализованных зон.

Кроме того, выявленные в результате съемки по ЛПР 1:50 000 м-ба экзогенные АГХП наиболее полно согласуются с составом и строением эродированных и дренируемых рудных объектов, а установленная экзогенная геохимическая зональность является отражением эндогенной. Появляется возможность оценки эрозионного среза этих объектов на локальных участках. Более достоверным становится поиск самих АГХП, определение их масштабов и изучение в них концентраций не только главных элементов, но и второстепенных.

В практическом отношении применение литохимических съемок по потокам рассеяния 1:200 000 м-ба наиболее эффективно на слабо изученных территориях, где информация о геохимических особенностях и металлогении района в целом отсутствует. Использование геохимических съемок 1:50 000 м-ба актуально при поисковых работах в районах, где уже был проведен значительный объем геологических исследований.

Несмотря на положительные стороны, характерные для площадных съемок по ЛПР 1:50 000 м-ба, есть важные обстоятельства, которые затрудняют их проведение.

Одно из них заключается в неопределенности места взятия проб из рыхлых отложений при опробовании крупных рек и ручьев. Установлено, что для наиболее достоверного выявления аномалий на участках развития крупных водотоков эффективным является опробование по профилям, размещенным вкрест простираения речных долин. Наиболее контрастные АГХП элементов тяготеют к тому водоразделу (борту долины), в котором присутствует рудная минерализация. При этом изучение основного типоморфного состава выявленных АГХП, а также их количественных параметров, позволяет установить тип оруденения. Максимальные содержания большинства элементов-индикаторов фиксируются непосредственно в общей (< 1 мм) и мелкой (< 0.25 мм) фракциях аллювия. Отбор мелкой фракции в крупных долинах современных водотоков не представляет каких-либо существенных трудностей, т.к. рыхлые отложения здесь хорошо сформированы.

Другое важное обстоятельство, затрудняющее проведение среднемасштабных съемок, заключается в трудности опробования вершин водотоков. Водотоки I порядка часто выполнены грубообломочными отложениями с редкими проявлениями крупной плохо окатанной гальки. Мелкая фракция аллювия, концентрирующая большинство рудных элементов, в них фрагментарна либо вовсе отсутствует.

В таких ситуациях положительный результат дает бриолитохимическое опробование. На примере поведения Au, Ag и Pb, главных элементов-индикаторов Au-Ag и Ag-Pb оруденения, а также некоторых сопутствующих элементов (Hg, Sb, As, Zn, Mn, В) установлено, что концентрация их в бриолитохимических пробах, в целом, значительно выше, чем в литохимических. Дополнительным критерием при этом являются ФН элементов. Предполагается, что ФН элементов-индикаторов оруденения в БЛПР в целом согласуются с ФН этих элементов в рудах и в достаточной степени отражают особенности их минерального и геохимического состава.

Проведенные комплексные геохимические исследования показали, что предложенные способы выявления и оценки экзогенных АГХП являются достаточно простыми и эффективными. Они могут быть использованы на всех стадиях прогноза и поисков рудной минерализации, в первую очередь, Au-Ag, не только на территории Северо-Востока России, но и в других регионах, а именно, в северных районах, на тех площадях, где формирование ЛПР и БЛПР происходит в условиях зон криолитогенеза.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кравцова Р.Г., **Макшаков А.С.** Аномальные геохимические поля золото-серебряных рудообразующих систем (Северо-Восток России) // Тез. докл. Междунар. горно-геол. форума «Золото северного обрамления Пацифика» (Магадан, 10-14 сент. 2008 г.). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. – С. 37-38.
2. **Макшаков А.С.**, Кравцова Р.Г. Литохимические потоки рассеяния Дукатской золото-серебряной рудно-магматической системы (Северо-Восток России) // Тез. докл. Четвертой Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 1-3 декабря 2008 г.). – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2008. – С. 184-186.
3. Рогозина Ю.И., **Макшаков А.С.** Формы нахождения золота и серебра в рыхлых отложениях потоков рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северо-Восток России) // Тез. докл. Четвертой Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 1-3 декабря 2008 г.). – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2008. – С. 224-225.
4. **Макшаков А.С.**, Кравцова Р.Г. Оценка геохимических аномалий при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации по потокам рассеяния (Северо-Восток России) // Металлогения древних и современных океанов–2009. Модели рудообразования и оценка месторождений: Материалы Пятнадцатой научной молодежной школы (Миасс, 19-23 апр. 2009 г.). – Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. – С. 95-99.
5. **Макшаков А.С.**, Кравцова Р.Г. Литохимические потоки рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения Северо-Восток России // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIII Всерос. молодежной конф. (Иркутск, 21-26 апр. 2009 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – С. 179-180.
6. **Макшаков А.С.**, Кравцова Р.Г. Экзогенные геохимические поля при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации на территории Северо-Востока России // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всерос. конф., посвященной 100-летию Н.В. Петровской (1910-1991) (М., 29-31 марта 2010 г.). – М.: ИГЕМ РАН, 2010. – Т. 2. – С. 15-17.
7. Кравцова Р.Г., **Макшаков А.С.** Разномасштабное геохимическое картирование при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации (Северное Приохотье) // Региональные геохимические работы – основа подготовки площадей для поисков месторождений полезных ископаемых: Тез. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. по прикладной геохимии. – М.: ИМГРЭ, 2010. – С. 126-127.
8. Кравцова Р.Г., Павлова Л.А., Рогозина Ю.И., **Макшаков А.С.** Первые данные по формам нахождения золота в литохимических потоках рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северо-Восток России) // Докл. РАН. – 2010. – Т. 434, № 1. – С. 96-106.
9. **Макшаков А.С.**, Кравцова Р.Г. Бриолитохимические исследования при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации по потокам рассеяния (Северо-Восток России) // Изв. Сиб. отд-ния Секции наук о Земле РАЕН – Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2010. – № 1 (36). – С. 103-111.
10. Павлова Л.А., Кравцова Р.Г., **Макшаков А.С.** Изучение состава и форм нахождения элементов-индикаторов оруденения в бриолитохимических потоках рассеяния методами растровой электронной микроскопии // Тез. докл. 17 Всерос. конф. по РЭМ (Черноголовка, 30 мая-3 июня 2011 г.). – М., 2011 (в печати).