

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 3 / 2017

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

## УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии  
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главные редакторы: С.А.Аксенов  
А.И.Иванов

С.С.Вартанян,  
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),  
Т.М.Палеско (зам. главного редактора),  
А.И.Черных (зам. главного редактора)

Бюро

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, А.И.Жамойда,  
А.К.Корсаков, А.А.Кременецкий, В.С.Круподеров,  
М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский,  
И.Ф.Мигачев, А.Ю.Розанов, Г.В.Ручкин,  
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,  
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

Редсовет

## Содержание

### ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

*Алексеев В.М., Фаррахов Е.Г., Вольфсон И.Ф.*  
Организация охраны труда на предприятиях геологической отрасли ..... 3

### МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Мансуров Р.Х., Тарасов А.В., Двуреченская С.С.*  
Геолого-геофизические признаки локализации крупнообъемных золотоносных минерализованных зон в пределах рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций на примере Енисейского кряжа ..... 12

*Кондратьев М.Н., Савва Н.Е., Гамянин Г.Н., Колова Е.Е., Семьшев Ф.И., Малиновский М.А., Кондратьева Е.А.*  
Новые данные по структуре, минералогии, геохимии золоторудного месторождения Каральвеем (Чукотка) ..... 26

*Ярцев Е.И., Шатагин Н.Н.*  
Геохимическая зональность даек позднеживетского габбро-диабазового комплекса на Джусинском колчеданно-полиметаллическом месторождении, Южный Урал ..... 45

*Артемова О.А.*  
Стадийность гидротермально-метасоматических и метаморфических изменений пород в пределах минерализованной зоны Северная, Светловское рудное поле, Бодайбинский рудный район ..... 53

### ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

*Николова Н.Ю., Шмелёва Л.А., Исаенко С.И.*  
Литологические, минералогические и петрохимические особенности песчаников верхневендско-нижнекембрийской енганэпейской свиты (хр. Енганэ-Пэ, Полярный Урал) ..... 58

*Чепуров А.А., Туркин А.И.*  
Проблема генезиса высокохромистых гранатов в перидотитах верхней мантии по экспериментальным данным ..... 69

*Шарданова Т.А., Фадеева Н.П., Хомяк А.Н., Косоруков В.Л.*  
Особенности строения и формирования высокоуглеродистых комплексов ..... 74

### ДИСКУССИИ

*Пузанов В.И.*  
Щелочной и кимберлитовый метасоматоз в истории Земли ..... 85

Редакция: *Т.М.Папеско, А.З.Добросердов*  
Компьютерная верстка *А.В.Кондратьев*

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Подписано в печать 13.06.2017

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1  
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: [http://tsnigri.ru/o\\_geology](http://tsnigri.ru/o_geology)

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП ЦНИГРИ

## Организация охраны труда на предприятиях геологической отрасли

В.М.АЛЕКСЕЕВ, Е.Г.ФАРРАХОВ, И.Ф.ВОЛЬФСОН (Российское геологическое общество (РОСГЕО); 115191, г. Москва, 2-я Рошинская ул., д. 10).

Рассмотрены организация охраны труда на предприятиях геологической отрасли, формирование структуры и численно-квалификационного состава служб охраны труда. Осуществлен анализ системы управления и регламентов в сфере охраны труда, а также финансирования мероприятий по улучшению условий и охраны труда на геологических предприятиях.

*Ключевые слова:* охрана труда, геологическая отрасль, служба, руководители, специалисты, технологическая безопасность, система управления охраной труда (СУОТ), финансирование.

Алексеев Виктор Михайлович  
Фаррахов Евгений Гатович  
Вольфсон Иосиф Файтелевич



avmgeo@yandex.ru  
rosgeo@yandex.ru  
rosgeo@yandex.ru

## Work organization at the enterprises of geological sector

V.M.ALEXEYEV, E.G.FARRAKHOV, I.F.VOLFSO

Work organization as well as formation of the structure and crew size and qualification of the staff of labour safety management are considered in the paper. The analysis is performed of the system of management and regulations in the field of labor safety as well as financing of the measures for improvement of working conditions and labor safety at the enterprises of geological sector.

*Key words:* labor safety, geological sector, service, management, specialists, technological safety, Labour Safety Management System (LSMS), financing.

Процесс становления хозяйственного механизма, обеспечивающего эффективное, динамичное и устойчивое развитие отраслей экономики, требует его подкрепления соответствующей социально-трудовой политикой, в том числе в области охраны и безопасности труда работников.

Для геологической отрасли состояние охраны и безопасности труда работников имеет особое значение в силу специфики и сложности организации труда геологического персонала, а также экстремальности условий проведения полевых геологоразведочных работ. Это в полной мере подтверждается результатами работы Российского геологического общества (РОСГЕО) по Государственному контракту с Минприроды России «Научные исследования в области использования трудовых ресурсов в геологической отрасли за период 2013–2015 гг. и разработка научно обоснованных предложений по подготовке требований к охране труда при проведении геологоразведочных работ», материалы которого были использованы в настоящей статье [4].

Значимость вопросов охраны труда для геологической отрасли определена в статье 24 Закона Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах»: «Строительство и эксплуатация предприятий по добыче полезных ископаемых, подземных сооружений различ-

ного назначения, проведение геологического изучения недр допускаются только при обеспечении безопасности жизни и здоровья работников этих предприятий и населения в зоне влияния работ, связанных с пользованием недрами. Органы государственной власти, пользователи недр обязаны обеспечить выполнение стандартов (норм, правил) по безопасному ведению работ, связанных с пользованием недрами.

...Непосредственную ответственность за обеспечение безопасных условий работ, связанных с пользованием недрами, несут руководители предприятий, независимо от того, проводят эти предприятия работы в соответствии с предоставленной им лицензией или привлекаются для выполнения работ по договору» [2].

Эффективность обеспечения безопасных и здоровых условий труда работников при производстве геологоразведочных работ во многом определяется организацией службы охраны труда на предприятиях. При этом функционирование службы охраны направлено на обеспечение безопасных условий и контроля выполнения требований охраны и гигиены труда, предупреждение производственного травматизма и профессиональных заболеваний, методическое руководство и координацию деятельности структурных подразделений и должностных лиц в области безопасности и охраны труда на предприятии.

Согласно статье 212 Трудового кодекса Российской Федерации (далее ТК – РФ), обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда, включая безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов и применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов, а также создание и функционирование системы управления охраной труда, возлагаются на работодателя [7].

Причем в статье 217 ТК РФ определено, что у работодателя, численность работников которого превышает 50 человек, создается служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда, имеющего соответствующую подготовку или опыт работы в этой области. При численности работников менее 50 человек работодатель принимает решение о создании службы или введении должности специалиста по охране труда с учетом специфики своей производственной деятельности. В случае отсутствия службы и штатного специалиста по охране труда их функции осуществляют работодатель – индивидуальный предприниматель, руководитель организации, другой уполномоченный работодателем работник либо организация или специалист, оказывающие услуги в области охраны труда, привлекаемые работодателем по гражданско-правовому договору [7].

Создание службы охраны труда на предприятии предполагает определение круга конкретных задач и функций, установление численно-квалификационного состава и организационной структуры, а также подготовку нормативно-методической базы для обеспечения работы службы охраны труда. Структура и численность работников службы охраны труда определяются работодателем с учетом рекомендаций федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по нормативно-правовому регулированию в сфере труда, а также Межотраслевых нормативов численности работников службы охраны труда в организациях, рекомендованных для применения во всех предприятиях независимо от их форм собственности и организационно-правовых форм. При этом работодатель учитывает фактическую численность работающих, наличие тяжелых работ, работ с вредными и(или) опасными условиями труда, степени опасности производств и другие факторы.

Служба охраны труда действует на основании Положения о службе охраны труда, в котором определены цели, задачи, функции, права и обязанности службы, порядок взаимодействия с подразделениями предприятия. Исходя из задач службы охраны труда, разрабатываются должностные инструкции руководителя и специалистов по охране труда. Создание службы охраны труда и введение Положения о службе охраны труда оформляется приказом руководителя предприятия.

Одновременно, согласно статье 218 ТК РФ, на предприятии по инициативе работодателя и(или) по иници-

ативе работников либо их представительного органа создаются комитеты (комиссии) по охране труда. В их состав на паритетной основе входят представители работодателя и представители выборного органа первичной профсоюзной организации или иного представительного органа работников. Комитет (комиссия) по охране труда организует совместные действия работодателя и работников по обеспечению требований охраны труда, предупреждению производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также организует проведение проверок условий и охраны труда на рабочих местах и информирование работников о результатах указанных проверок, сбор предложений к разделу коллективного договора (соглашения) об охране труда [7].

Анализ соблюдения минимальных требований ТК РФ к численности специалистов по охране труда на предприятиях геологической отрасли дает удовлетворительные результаты [4]. Так, из 29 предприятий геологической отрасли, в 27 из них с численностью работников свыше 50 человек работодателем созданы службы охраны труда или введены штатные должности специалиста по охране труда. Одновременно на двух предприятиях с численностью работников менее 50 человек обязанности по охране труда возложены, соответственно, на главного геолога и инженера-топографа.

В организационном плане из 29 обследованных предприятий в 2 крупных по численности работников организациях действуют управления по охране труда, промышленной и энергетической безопасности, гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям, соответственно, с численностью специалистов по охране труда более 10 человек. На 4 предприятиях созданы службы и 8 предприятиях – отделы охраны труда, в том числе с отражением в наименованиях этих подразделений функций по промышленной безопасности, технике безопасности, гражданской обороне, охране окружающей среды и др. На остальных 15 предприятиях обязанности по охране труда возлагаются на штатных специалистов (инженеров) по охране труда, совместителей и других работников, уполномоченных работодателем осуществлять функции в сфере охраны труда.

Одновременно надо отметить возникновение некоторой коллизии с наименованием должностей работников по охране труда, а именно параллельное использование на предприятиях должностей инженера и специалиста по охране труда, а также начальника и руководителя службы охраны труда.

Действительно, приказом Минтруда России от 15.05.2013 № 205 с 01.07.2013 должности «Начальник отдела охраны труда» и «Инженер по охране труда» исключены из Квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих, утвержденного постановлением Минтруда России от 21.08.1998 № 37 (далее – Справочник). Одновременно приказом Минздравсоцразвития России от 17.05.2012

№ 559н с 01.07.2013 введен в действие раздел справочника «Квалификационные характеристики должностей специалистов, осуществляющих работы в области охраны труда», в котором предусмотрены должности «Руководитель службы охраны труда» и «Специалист по охране труда». В связи с этим возникает вопрос о возможности применения наименований должностей «Начальник отдела охраны труда» и «Инженер по охране труда» наряду с должностями «Руководитель службы охраны труда» и «Специалист по охране труда». По этому поводу в статье 57 ТК РФ определено: «Если в соответствии с настоящим Кодексом, иными федеральными законами с выполнением работ по определенным должностям, профессиям, специальностям связано предоставление компенсаций и льгот либо наличие ограничений, то наименование этих должностей, профессий или специальностей и квалификационные требования к ним должны соответствовать наименованиям и требованиям, указанным в квалификационных справочниках, утверждаемых в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации, или соответствующим положениям профессиональных стандартов» [7]. При этом, в соответствии со статьей 144 ТК РФ, положения единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих обязаны учитывать государственные и муниципальные учреждения.

Таким образом, если на коммерческом предприятии при выполнении функций по должности работника в сфере охраны труда законодательством не предусмотрено предоставления каких-либо компенсаций, льгот и не установлено каких-либо ограничений, решение о наименовании должностей «Начальник отдела охраны труда» и «Инженер по охране труда» или «Руководитель службы охраны труда» и «Специалист по охране труда» остается за работодателем. Хотя это не может гарантировать отсутствие проблем у работодателя и работников по охране труда в связи с сохранением прежних наименований должностей. Поэтому необходимо привести наименование должностей руководителей и специалистов, осуществляющих работы в области охраны труда, в соответствие с приказом Минздравсоцразвития России от 17.05.2012 № 559н, при безусловном выполнении его регламентов в государственных и муниципальных учреждениях. Тем более, что с утверждением раздела «Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов, осуществляющих работы в области охраны труда» Справочника изменились требования к квалификации работников, занимающихся вопросами охраны труда. Теперь руководители служб и специалисты по охране труда всех категорий должны иметь высшее профессиональное образование по направлению подготовки «Техносферная безопасность» или соответствующим ему направлениям подготовки (специальностям) по обеспечению безопасности производственной деятельности, либо высшее профессиональное образова-

ние и дополнительное профессиональное образование (профессиональная переподготовка) в области охраны труда, с предъявлением требований к стажу работы. Исключением является должность «Специалиста по охране труда», для которой при наличии высшего образования не предъявляются требования к стажу работы, а при наличии среднего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (профессиональная переподготовка) в области охраны труда, стаж работы в области охраны труда должен быть не менее 3 лет.

Кстати, аналогичные требования к квалификации содержит профессиональный стандарт «Специалист в области охраны труда», утвержденный Приказом Минтруда России от 04.08.2014 № 524н, в котором, кроме того, обозначены следующие особые условия допуска к работе: «При наличии у работодателя опасных производственных объектов – соответствующая подготовка и аттестация в области промышленной безопасности» [3].

Правда справочник «Квалификационные характеристики должностей специалистов, осуществляющих работы в области охраны труда», допускает, что лица, не имеющие специальной подготовки или стажа работы, установленных в разделе «Требования к квалификации», но обладающие достаточным практическим опытом и выполняющие качественно и в полном объеме возложенные на них должностные обязанности, по рекомендации аттестационной комиссии назначаются на соответствующие должности так же, как и лица, имеющие специальную подготовку и стаж работы.

Вместе с тем, важно отметить, что Федеральным законом «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации» и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 02.05.2015 № 122-ФЗ в статье 195.3. определено: «Если настоящим Кодексом, другими федеральными законами, иными нормативными правовыми актами Российской Федерации установлены требования к квалификации, необходимой работнику для выполнения определенной трудовой функции, профессиональные стандарты в части указанных требований обязательны для применения работодателями» [1]. При этом, в соответствии со статьей 419 ТК РФ, лица, не выполнившие требования законодательства, привлекаются к различным видам ответственности в порядке, установленном ТК РФ и иными федеральными законами, в том числе могут попасть под штрафные санкции Государственной инспекции по труду.

В общем же на практике изложенное означает, что для работы в службе охраны труда любого уровня на предприятии геологической отрасли штатные работники должны иметь профильное высшее образование по направлению «Техносферная безопасность» или, имея высшее образование (любого направления), пройти дополнительное профессиональное обучение в форме профессиональной переподготовки. По логике это тре-

бование к квалификации работников по охране труда распространяется на предприятия, численность которых не превышает 50 человек. В данном случае, согласно статье 217 ТК РФ, при отсутствии у работодателя службы охраны труда, штатного специалиста по охране труда их функции осуществляют работодатель – индивидуальный предприниматель (лично), руководитель организации, другой уполномоченный работодателем работник либо организация или специалист, оказывающие услуги в области охраны труда, привлекаемые работодателем по гражданско-правовому договору.

Естественно, получение профильного высшего образования по направлению «Техносферная безопасность» или, при наличии высшего образования (любого направления), прохождение дополнительного профессионального обучения в форме профессиональной переподготовки потребует определенных затрат времени и финансовых средств со стороны работодателя.

На обследованных предприятиях геологической отрасли из 48 служащих в области безопасности и охраны труда должности специалистов по охране труда занимают 23 человека (47,9%), остальные же квалифицируются по-старому – инженеры по охране труда [4]. Одновременно среди 11 руководителей подразделений охраны труда только 2 человека (18,2%) занимают должности руководителей службы по охране труда, а остальные именуются начальниками служб и отделов.

Здесь необходимо отметить, что не следует ограничиваться формальной заменой в штатном расписании наименования должности «Инженер по охране труда» на «Специалиста по охране труда» без дополнительной профессиональной переподготовки (обучения), поскольку простое переименование должности работника не спасает от штрафных санкций. Тем более нужно отметить, что в настоящее время программы по подготовке дипломированных специалистов по техносферной безопасности реализуются во многих образовательных учреждениях, среди которых только в Москве более 20 высших учебных заведений.

На предприятиях-респондентах из 48 работников по охране труда большинство имеют высшее профессиональное образование и только 3 человека – среднее профессиональное образование. Отметим, что практически все работники регулярно осуществляют обучение и повышение квалификации по программам охраны и безопасности труда. При этом два предприятия указали, что ряд работников прошли обучение по программе «Управление охраной труда. Техносферная безопасность».

Помимо образовательного уровня специалистов, на эффективность деятельности в сфере безопасности и охраны труда влияет их практический опыт. По информации 29 предприятий-респондентов, общий трудовой стаж работников по охране труда колеблется от 6 до 55 лет (средний общий стаж – 29,7 лет). При этом 26 предприятий указали наличие у работников стажа в геоло-

гии от 1 года до 53 лет (средний стаж – 18,3 лет), а 27 предприятий – стаж работы в области охраны труда от 1 года до 42 лет (средний стаж – 9,8 лет) [4]. Приведенные данные показывают, что на предприятиях-респондентах в сфере охраны труда заняты опытные специалисты, большинство из которых являются кадровыми работниками геологической отрасли.

Большое значение в обучении и проведении инструктажа работников по безопасности и охране труда имеет функционирование специальных кабинетов (классов, уголков и др.), о наличии которых заявили 14 из 29 предприятий. Одновременно на большинстве геологических предприятий наряду со службой охраны труда в соответствии со статьей 218 ТК РФ созданы комитеты (комиссии) по охране труда.

Они осуществляют работы по обеспечению требований охраны труда, предупреждению производственного травматизма, проведению проверок условий и охраны труда на рабочих местах и др.

В организации охраны труда важным является вопрос о финансировании мероприятий по улучшению условий и охраны труда. В связи с этим в статье 226 ТК РФ определено следующее: «Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда работодателями (за исключением государственных унитарных предприятий и федеральных учреждений) осуществляется в размере не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг)» [7], а также «Работник не несет расходов на финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда». При этом финансирование большинства проводимых работодателем мероприятий по охране труда работников осуществляется за счет собственных средств предприятия.

Из 29 предприятий-респондентов корректные затраты на охрану труда указала 21 организация или 72,4% [4]. Правда оценить затраты относительно регламента ТК РФ удалось лишь ориентировочно, потому что в качестве отчетной базы вместо затрат на производство продукции (работ, услуг) пришлось задействовать показатель выручки или объема работ в денежном выражении, что несколько занизило долю затрат на охрану труда в предприятиях. Вместе с тем, по 21 предприятию средний размер финансирования мероприятий по улучшению условий и охраны труда работодателями составил 0,21% от выручки или общих объемов работ по предприятиям, что несколько выше норматива ТК РФ.

Колебание доли затрат на охрану труда по 21 предприятию составило от 0,022 до 10,8%. Меньше регламентированной ТК РФ доли затрат на охрану труда отмечено на 5 предприятиях геологической отрасли, на которые приходится 23,8% от их общего числа. Причем 2 организации являются федеральными государственными унитарными предприятиями и бюджетными учреждениями, на которые нормы затрат на охрану труда ТК РФ не распространяются.

Анализ распределения затрат на охрану труда на предприятиях геологической отрасли наводит на вопрос об объективности заявленного в ТК РФ размера финансирования мероприятий по улучшению условий – не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг). На это также указывает выведение из-под норм ТК РФ государственных унитарных предприятий, которые являются коммерческими организациями и в отличие от федеральных учреждений, финансирующих мероприятия по охране труда за счет средств, выделенных на их содержание, формируют фонды на охрану труда за счет контрактов и договоров. Причем, как правило, государственные унитарные предприятия выполняют геологоразведочные работы такие же, как организации различных форм собственности. Кроме того, затраты на производство продукции (работ, услуг) зачастую не являются исчерпывающим показателем значимости и сложности работы по охране труда на предприятии, особенно при наличии вредных и опасных производств, в отличие от научной, посреднической и торговой деятельности. Возможно, в ТК РФ следует дифференцировать нормы финансовых затрат на охрану труда с учетом характера деятельности предприятий.

В целом изложенное выше позволяет сделать вывод об относительно удовлетворительном состоянии организации служб охраны труда на предприятиях геологической отрасли. Вместе с тем следует обратить внимание на численно-квалификационный состав подразделений охраны труда и обоснованность финансовых затрат на обеспечение безопасных и здоровых условий труда работников.

Для успешного функционирования системы управления охраной труда работодатель формирует локальную нормативно-правовую систему предприятия, содержащую регламенты по охране и безопасности труда. При этом предприятия должны руководствоваться Трудовым кодексом Российской Федерации (Раздел X. Охрана труда), государственными стандартами безопасности труда, межотраслевыми правилами и типовыми инструкциями по охране труда, государственными санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (санитарные правила и нормы, гигиенические нормативы и др.), а также другими действующими государственными, межотраслевыми и отраслевыми нормативно-правовыми актами по охране труда.

Охрана труда работников предприятий непосредственно связана с обеспечением безопасности при эксплуатации технических средств и оборудования, а также выполнении отдельных видов работ, что находит отражение в соответствующей документации. Прежде всего это касается эксплуатации зданий и сооружений, производственного оборудования, транспортных средств, грузоподъемных механизмов (кранов), сосудов, работающих под давлением, тепловых энергоустановок (в том числе паровых и водогрейных котлов), компрессорных

установок, оборудования газового хозяйства, воздухопроводов, газопроводов, трубопроводов пара и горячей воды, абразивного инструмента, такелажных средств и механизмов, лесов и подмостей, а также пожарной безопасности и выполнения погрузо-разгрузочных, газоопасных, сварочных, высотных и других работ, сопряженных с повышенной опасностью.

Количество наименований и разнообразие содержания документов по охране труда на предприятиях геологической отрасли достаточно большое, достигающее в отдельных случаях до сотни видов документов, что в первую очередь определяется требованиями нормативных актов, а также направлениями деятельности предприятия, видами, объемами, спецификой условий и сложностью технологических процессов производства геологоразведочных работ.

Основополагающим организационно-регламентирующим документом предприятия является Положение о системе управления охраной труда (далее – СУОТ), которое утверждается приказом работодателя с учетом мнения работников и(или) уполномоченных ими представительных органов.

Положение о СУОТ предприятия разрабатывается с учетом Типового положения о системе управления охраной труда, утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 19.08.2016 № 438н [6], призванного оказать содействие работодателям при создании и обеспечении функционирования системы управления охраной труда на основе соблюдения государственных нормативных требований охраны труда.

СУОТ предприятия должна быть совместимой с другими системами управления, действующими у работодателя, а ее требования обязательны для всех лиц, работающих у работодателя и находящихся на территории, в зданиях и сооружениях предприятия.

В соответствии с Типовым положением и с учетом специфики производства работ работодатель предусматривает в положении о СУОТ предприятия следующие основные разделы:

- политика и цели работодателя в области охраны труда;
- обеспечение функционирования СУОТ (распределение обязанностей в сфере охраны труда между должностными лицами работодателя);

- процедуры, направленные на достижение целей работодателя в области охраны труда, включая:

- подготовку работников по охране труда;
- организацию и проведение оценки условий труда;
- управление профессиональными рисками;
- организацию и проведение наблюдения за состоянием здоровья работников;

- информирование работников об условиях труда на их рабочих местах, уровнях профессиональных рисков, а также о предоставляемых им гарантиях, полагающихся компенсациях;

- обеспечение оптимальных режимов труда и отдыха работников;

обеспечение работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;

обеспечение работников молоком и другими равноценными пищевыми продуктами, лечебно-профилактическим питанием;

обеспечение безопасного выполнения подрядных работ и снабжения безопасной продукцией;

планирование мероприятий по реализации процедур; контроль функционирования СУОТ и мониторинг реализации процедур;

планирование улучшений функционирования СУОТ; реагирование на аварии, несчастные случаи и профессиональные заболевания;

управление документами СУОТ.

Структура СУОТ у работодателей с численностью работников менее 15 человек может быть упрощенной при условии соблюдения государственных нормативных требований охраны труда.

В геологической отрасли из 30 предприятий, представивших информацию по охране труда, 15 указали на наличие положения о СУОТ [4]. Содержание и детальная проработка вопросов охраны труда в СУОТ предприятий разная и определяется сложностью и масштабностью производства геологоразведочных работ. В геологической отрасли наиболее содержательные положения о СУОТ представлены на предприятиях, осуществляющих сложные производственные процессы, а также деятельность которых связана с проведением геологоразведочных работ за рубежом или по контрактам с иностранными заказчиками. Это, в первую очередь, связано с высокими требованиями и ответственностью производителя работ в сфере безопасности и охраны труда.

К таковым, в частности, относятся предприятия, осуществляющие морские геолого-геофизические работы, в которых система менеджмента безопасности и охраны труда включает Руководство по системе менеджмента безопасности и охраны труда и Систему управления охраной труда и промышленной безопасностью. Причем система менеджмента безопасности и охраны труда содержит 26 разделов, что указывает на значимость, детальность и ответственность подходов проработки вопросов охраны и безопасности труда.

Положение о СУОТ, как правило, сопровождается приложениями, в которых содержатся организационно-технические регламенты предприятия и конкретные требования нормативных документов по охране и безопасности труда.

В целом СУОТ является комплексным действенным инструментом, регламентирующим управление и организацию работы по охране труда и промышленной безопасности, который необходимо использовать на предприятиях всех форм собственности и организационно-правовых форм. При этом следует обратить внимание на небольшие, особенно с численностью

работников до 50 человек, и средние геологические предприятия, у руководителей которых зачастую просто не доходят руки до разработки положения СУОТ, хотя оно могло бы в значительной мере упорядочить и упростить работу по охране труда. В настоящее время небольшие предприятия вместо СУОТ ограничиваются разработкой положений по охране труда на предприятии.

В связи с изложенным, учитывая специфику геологоразведочного производства, можно поставить вопрос о необходимости разработки Типового положения о системе управления охраной труда на предприятиях геологической отрасли.

В сфере управления охраной и безопасностью труда особую роль играют документы, регламентирующие задачи, обязанности, ответственность и права структурных подразделений и отдельных должностных лиц в сфере охраны труда, при разработке которых следует руководствоваться статьями 212 и 214 ТК РФ, регламентирующими обязанности работодателя и работника в области охраны труда.

Вопросы охраны труда затрагиваются в Коллективном договоре предприятия (далее – Договор), который в соответствии со статьей 40 ТК РФ является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения в организации или у индивидуального предпринимателя и заключаемый между работодателем и работниками в лице их представителей. Нужно отметить, что роль и значимость Договора в регулировании труда прогрессировала по мере развития экономической и социальной жизни общества. Становление рынка труда в современной России и совершенствование законодательства в сфере трудовых отношений обусловили изменения содержания и сущности коллективного договора. Он становится основной разновидностью социально-партнерского регулирования трудовых отношений непосредственно на предприятиях. Современный коллективный договор приобретает черты локально-правового нормативного акта, призванного служить своеобразным трудовым кодексом для наемных работников и работодателя на конкретном предприятии. Нормативные аспекты труда наряду с правовыми положениями становятся доминирующими в содержании Договора и нацелены на организацию автономной системы условий и охраны труда, действующей в рамках данного предприятия независимо от форм собственности, ведомственной принадлежности и численности работников.

Согласно статье 41 ТК РФ, в Договор могут включаться следующие обязательства работников и работодателя по вопросам охраны труда [7]:

выплата пособий, компенсаций;

рабочее время и время отдыха, включая вопросы предоставления и продолжительности отпусков;

улучшение условий и охраны труда работников, в том числе женщин и молодежи;

экологическая безопасность и охрана здоровья работников на производстве;

оздоровление и отдых работников и членов их семей; частичная или полная оплата питания работников.

Договор регламентирует положения по охране труда на уровне трудового коллектива, которые распространяются на всех работников предприятия. Одновременно конкретизация этих положений и специфика охраны труда на рабочих местах находят свое отражение в трудовых договорах работников. На федеральном уровне примерное содержание коллективного и трудового договора в части охраны труда определено в Письме Минтруда России от 23.01.1996 N 38-11 «Рекомендации по учету обязательств работодателя по условиям и охране труда в трудовом и коллективном договорах» и статьях 212 и 214 ТК РФ [5, 7].

Из 30 предприятий-респондентов 20 предоставили информацию о Договорах с соответствующими разделами по охране труда. При этом, несмотря на то, что остальные предприятия не упомянули Договоры, можно предположить их наличие на предприятии, так как его статьи определяют правомерность реализации тех или иных мероприятий по организации труда и финансовым затратам, в том числе по включению их в себестоимость работ.

Обобщая информацию о представленных Договорах геологических предприятий, следует отметить разнородное их содержание, которое во многом определяется характером и масштабами деятельности, а также условиями производства геологоразведочных работ, в том числе наличием работ с тяжелыми и вредными условиями труда. При этом часто в Договоре присутствует специальный раздел по охране труда, в котором работодатель в соответствии с действующим законодательством призван обеспечить:

финансирование мероприятий по охране труда и промышленной безопасности;

безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов;

условия труда, соответствующие требованиям охраны труда на каждом рабочем месте;

выполнение в установленные сроки комплекса организационных и технических мероприятий по охране труда;

обучение работников безопасным методам и приемам выполнения работ, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда, а в противном случае недопущение их к работе;

проведение специальной оценки рабочих мест по условиям труда с последующей их сертификацией;

информирование работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья и полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;

предоставление работникам, занятым на работах с вредными и опасными условиями труда, льгот и компенсаций;

организацию горячего питания работникам, направленным на полевые работы;

проведение предусмотренных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, а в противном случае недопущение их к исполнению своих трудовых обязанностей;

приобретение и выдачу за счет средств предприятия сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств в соответствии с действующими правилами и нормами;

организацию контроля состояния условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты;

принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций, сохранению жизни и здоровья работников при возникновении таких ситуаций, в том числе по оказанию пострадавшим первой помощи;

санитарно-бытовое и лечебно-профилактическое обслуживание работников в соответствии с требованиями охраны труда (оборудование санитарно-бытовых помещений, помещений для приема пищи, помещений для оказания медицинской помощи, комнат для отдыха в рабочее время и психологической разгрузки, создание санитарных постов с аптечками, оснащение кондиционерами, вентиляторами, нагревательными приборами, кулерами, электробытовыми приборами и др.);

обязательное медицинское страхование работников и страхование их от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

условия и охрану труда женщин и молодежи;

выполнение установленных социальных гарантий, компенсаций и льгот;

совместно с профсоюзным комитетом (уполномоченными профкома или представителями трудовых коллективов) разработку планов организационно-технических мероприятий (соглашений) и формирование комитетов (комиссий) по охране труда, а также организацию контроля состояния условий и охраны труда.

Помимо коллективного договора, работодатель отражает вопросы условий и охраны труда в трудовом договоре работника, которые определяются согласно Письму Минтруда России от 23.01.1996 N 38-11 «Рекомендации по примерному содержанию раздела обязательств работодателя и работника по условиям и охране труда в трудовом договоре (контракте)» и в статьях 212 и 214 ТК РФ [5, 7].

Неотъемлемая часть трудового договора – должностная инструкция работника, в которой определены обязанности и права работников, в том числе в сфере

безопасности и охраны труда. При этом совершенно очевидно, что учесть в полном объеме рекомендации Минтруда России в трудовом договоре затруднительно, поэтому отдельные общие положения по охране труда реализуются через локальные нормативные акты, в том числе отражающие условия труда для определенных групп и категорий работников.

Реализация и детализация положений основополагающих нормативно-правовых документов по охране труда осуществляется на предприятии путем разработки и принятия локальных нормативных актов, применение которых регулируется статьей 8 ТК РФ «Локальные нормативные акты, содержащие нормы трудового права».

При определении понятия «локальный нормативный акт» следует иметь в виду, что локальный нормативный акт, принимаемый работодателем (руководителем организации, иным уполномоченным лицом), рассчитан на многократное применение и распространяется на работников предприятия.

Локальные нормативные акты, содержащие нормы трудового права, принимаются в следующих целях:

исполнение требований федеральных законов, нормативных правовых актов, регулирующих трудовые отношения;

детализация и конкретизация норм федеральных законов и иных нормативных правовых актов с учетом особенностей организации труда конкретного юридического лица;

регулирование вопросов, не регламентированных федеральными законами и иными нормативными правовыми актами.

Наряду с прямо предусмотренными ТК РФ локальными нормативными актами работодатель, осуществляя локальное нормотворчество, может принимать и другие документы, содержащие нормы трудового права, необходимые для решения возникающих проблем во взаимоотношениях с работниками.

К локальным нормативным актам относится большой спектр документов, включающих требования охраны труда, к которым, в частности, можно отнести:

приказы и распоряжения о распределении обязанностей; стандарты организаций;

положение об организации работ по охране труда;

положение о системе управления охраной труда;

приказ о создании комитета (комиссии) по охране труда;

положение о порядке обучения и проверки знаний по охране труда;

перечень профессий и работ с повышенными требованиями;

перечень мест производств и видов работ по наряду-допуску;

технологические регламенты;

перечень категорий работников, обязанных проходить медицинские осмотры;

перечни тяжелых работ и работ с вредными (опасными) условиями труда, на которых запрещено (ограничено) применение труда лиц моложе 18 лет (женщин);

инструкции по охране труда для персонала, при обслуживании оборудования и производстве работ.

Наличие регламентов по охране труда требует оценки их исполнения. По информации за период 2015 г. из 30 предприятий геологической отрасли в 12 сообщается о выявленных нарушениях требований безопасности и охраны труда, содержащихся в нормативных правовых актах Российской Федерации, ведомств и предприятий, а также принятых мерах по их устранению [4]. Причем большинство нарушений охраны труда связано с оформлением и обустройством рабочих мест (например, отсутствие и неправильное оформление документации и информации по охране труда, несоответствие средств техники безопасности и пожаротушения требованиям охраны труда, несоответствующее обустройство рабочих мест и др.). На трех предприятиях отмечены нарушения, связанные с работой и эксплуатацией транспортных средств. Отдельно следует отметить нарушения, связанные с инструктажем работников (2 предприятия) и их обучением охране труда (3 предприятия), а также аттестацией рабочих мест по условиям труда (3 предприятия). Данные нарушения относятся к отдельным рабочим местам и работникам. Кроме того, отмечаются нарушения, связанные с состоянием и использованием технических средств (6 предприятий), а также с несвоевременным обеспечением средствами индивидуальной защиты работников и выдачей им смывающих и обезвреживающих средств (2 предприятия). В целом нарушения требований безопасности и охраны труда, содержащихся в нормативно-правовых актах, не носят массовый характер, а предприятия своевременно принимают меры по их устранению.

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать удовлетворительное состояние организации охраны труда на предприятиях геологической отрасли. Вместе с тем, с целью повышения эффективности работы в сфере безопасности труда, целесообразно рассмотреть вопрос о создании в составе Минприроды России соответствующей службы (подразделения), которая будет осуществлять координацию работ по безопасности и охране труда на предприятиях. Одновременно для улучшения нормативно-методического обеспечения предприятий геологической отрасли возникает предложение об организации «Отраслевого научно-методического центра по безопасности и охране труда при проведении геологоразведочных работ». Центр, помимо разработки нормативно-методических материалов и организации процессов обучения работников отрасли, может осуществлять мониторинг состояния и разрабатывать программы по охране труда в геологической отрасли. На первых стадиях подобный центр может быть создан в составе общественной организации Российское геологическое общество. Тем более,

что с целью повышения эффективности работы в сфере безопасности труда большинство предприятий-респондентов выдвигают на первый план проблему обеспечения геологической отрасли современными нормативными и инструктивно-методическими материалами по безопасности и охране труда при проведении геологоразведочных работ. В первую очередь это касается актуализации правил безопасности при геологоразведочных работах, правил безопасности ведения морских геологоразведочных работ, типовых инструкций по безопасному проведению отдельных видов работ, а также разработки типовой системы управления охраной труда применительно к геологической отрасли.

Совершенно очевидно, что активизация работ в сфере безопасности и охраны труда на отраслевом уровне потребует финансовых средств, которые могут быть консолидированы в виде специального фонда. Законодательное основание подобного подхода обозначено в статье 226 ТК РФ: «В отраслях экономики, субъектах Российской Федерации, на территориях, а также у работодателей могут создаваться фонды охраны труда в соответствии с федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления» [7].

Актуальным является вопрос о реализации на предприятиях положений статьи 226 ТК РФ в части финансирования мероприятий по охране труда в размере не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг) [7], которая не учитывает различия в организационно-технологической сложности, степени опасности и тяжести условий производства работ на отдельных предприятиях. В связи с этим целесообразно на отраслевом уровне осуществить дифференциацию требований к размерам затрат на охрану труда с учетом видов деятельности, опасности и тяжести производства работ. Решение этой задачи возможно на отраслевом уровне путем фиксации регламента по минимальному финансированию охраны труда на предприятиях в Отраслевых соглашениях при участии профсоюзных организаций.

Одна из проблем геологических предприятий – подготовка специалистов в области безопасности и охраны труда, с учетом специфики геологоразведочных работ, в том числе для предприятий, осуществляющих морские геолого-геофизические работы. Дополнительно возникли кадровые проблемы в связи с переименованием должности «инженер по охране труда» в «специалист по охране труда», с введением специальных требований к его квалификации: высшее профессиональное образование по направлению подготовки «Техносферная безопасность». Это происходит на фоне того, что на геологических предприятиях многие работники по охране труда не имеют подготовку по этому направлению, а, следовательно, должны пройти дополнитель-

ное обучение на коммерческой основе. Одновременно существуют трудности в проведении обучения по безопасности и охране работ в связи с отсутствием современных плакатов и видеоматериалов по видам геологоразведочных работ.

Следует отметить, что во времена Министерства геологии СССР в составе отрасли были учебно-методический кабинет по подготовке рабочих на производстве и институт повышения квалификации специалистов, которые в том числе решали вопросы нормативно-методического обеспечения предприятий и занимались обучением персонала по отраслевым специальностям и профессиям, неотъемлемой частью которого была охрана труда.

Надо сказать, что несмотря на ссылки в официальных документах на геологическую отрасль в организационном плане она не позиционирована, так как не установлено, сколько и какие предприятия в нее входят, что в какой-то мере затрудняет управление и нормативно-методическое обеспечение в сфере охраны труда на отраслевом уровне. Вместе с тем представляется целесообразным разработать концепцию (стратегию) по безопасности и охране труда для предприятий геологической отрасли на ближайшую перспективу, которая должна быть ориентирована на обеспечение здоровых и безопасных условий труда при проведении геологоразведочных работ, а также реализацию профилактических мер и достижение «нулевого» показателя травматизма.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации»:* Федеральный закон от 02.05.2015 № 122-ФЗ.
2. *О недрах:* Закон Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1.
3. *Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда»:* Приказ Минтруда России от 04.08.2014 № 524н.
4. *Отчет по Государственному контракту с Минприроды России № АО-11-23/325 от 16.05.2016 «Научные исследования в области использования трудовых ресурсов в геологической отрасли за период 2013–2015 гг. и разработка научно обоснованных предложений по подготовке требований к охране труда при проведении геологоразведочных работ».*
5. *Письмо Минтруда России от 23.01.1996 № 38-11 «Рекомендации по учету обязательств работодателя по условиям и охране труда в трудовом и коллективном договорах».*
6. *Типовое положение о системе управления охраной труда:* Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 19.08.2016 №438н.
7. *Трудовой кодекс Российской Федерации:* Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 01.01.2017, с изм. на 03.07.2016).

### Геолого-геофизические признаки локализации крупнообъемных золотоносных минерализованных зон в пределах рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций на примере Енисейского кряжа

Р.Х.МАНСУРОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1),  
А.В.ТАРАСОВ (ООО Научно-производственное предприятие «ВИРГ-Рудгеофизика»; 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Белоостровская, д. 17, корп. 2),  
С.С.ДВУРЕЧЕНСКАЯ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1)

Поисковыми работами ФГУП ЦНИГРИ в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади, расположенной на восточном склоне Енисейского кряжа, выявлены золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное. Золотая минерализация приурочена к рудоконтролирующей зоне складчато-разрывных деформаций север-северо-западной ориентировки, являющейся одной из ветвей Ишимбинской системы глубинных долгоживущих разломов. Впервые в регионе установлена золотоносность углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложений свит аладынской и карточки среднего рифея.

*Ключевые слова:* восточный склон Енисейского кряжа, рудопоявление Южное, свиты аладынская и карточка среднего рифея, золотоносные минерализованные зоны.

Мансуров Ринат Халитович  
Тарасов Андрей Вячеславович  
Двуреченская Светлана Степановна



rinman81@bk.ru  
tarasov@virg-npp.ru  
dvurechenskaya@tsnigri.ru

### Geological and geophysical evidence of large-tonnage gold-rich mineralized zone localization within ore-controlling zones of fold-ruptural deformations exemplified by the Yenisei ridge

R.Kh.MANSUROV, A.V.TARASOV, S.S.DVURECHENSKAYA

Gold-bearing mineralized zones of the Yuzhnoye ore occurrence have been localized during prospecting by FSUE TSNIGRI within Sredne-Ishimbinskaya prospective area in the eastern slope of the Yenisei ridge. Gold ore mineralization is confined to the ore-controlling zone of fold-discontinuous deformations of north-north-west orientation representing one branch of the Ishimbinsky deep fault system. For the first time in the region, gold ore mineralization in carbonaceous terrigenous sediments of Kartochki and Aladyinskaya series of the Middle Riphean is detected.

*Key words:* Eastern slope of the Yenisei ridge, the Yuzhnoye gold ore occurrence, Aladyinskaya and Kartochki series of Middle Riphean, gold-bearing mineralized zones.

В период 2013–2015 гг. силами ФГУП ЦНИГРИ осуществлялись поисковые работы на коренное золото на Средне-Ишимбинской перспективной площади. В результате работ были выявлены золотоносные минерализованные зоны рудопоявления Южное в юго-восточной части площади. Исследования выполнялись в рамках госконтракта Роснедра «Поисковые работы на большеобъемное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций».

Средне-Ишимбинская перспективная площадь расположена на восточном склоне Енисейского кряжа (рис. 1). Последний представляет собой вытянутый на 700 км покровно-складчатый пояс север-северо-западного простирания в юго-западном обрамлении Сибирской платформы [2–4, 10, 12, 16]. По данным А.И.Кривцова и др. (2009), в металлогеническом отношении площадь работ входит в состав Северо-Енисейско-Ишимбинской металлогенической подзоны Чернореченско-Каменской структурно-металлогенической зоны. Большинство исследователей региона

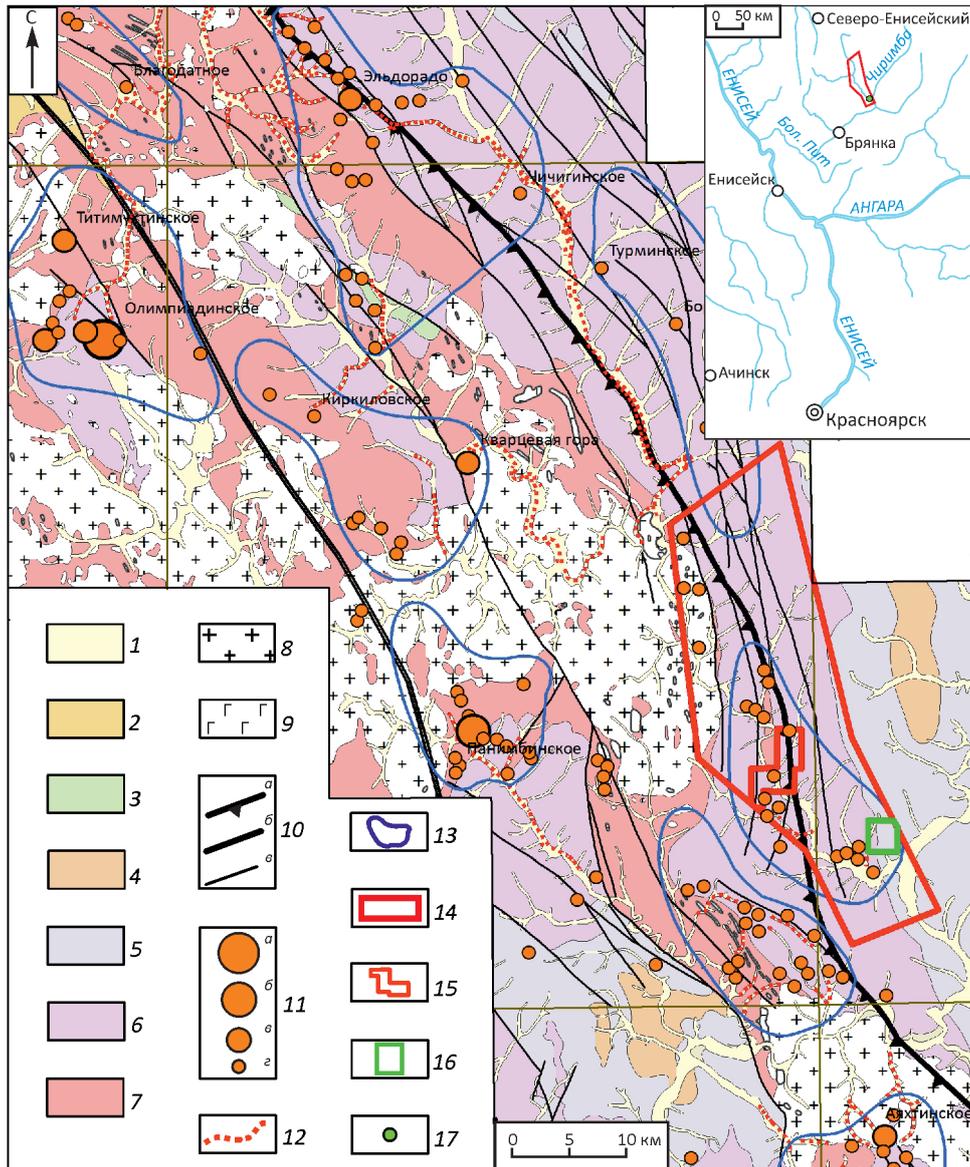
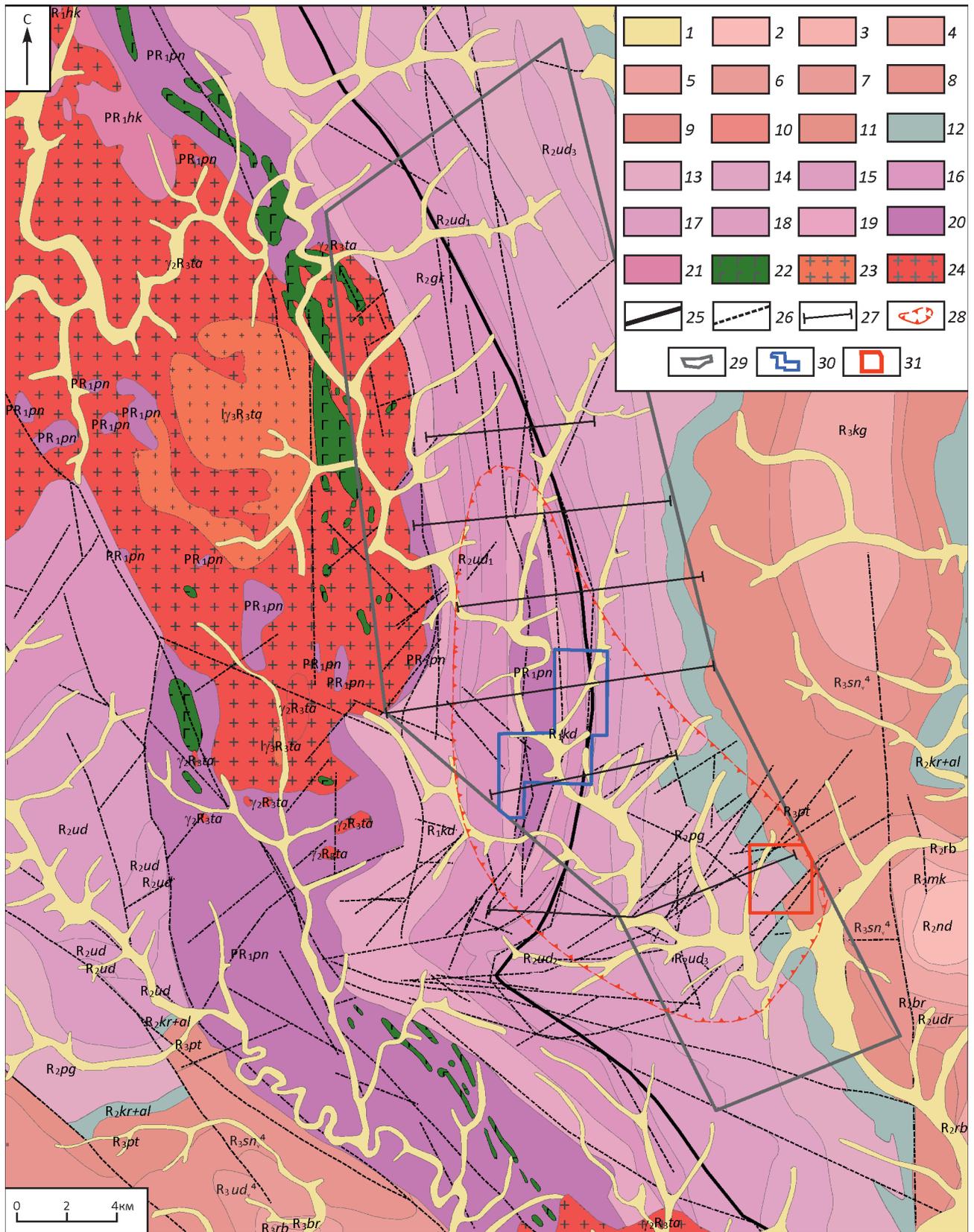


Рис. 1. Обзорная схема центральной части Енисейского края. Составлена с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»:

1–7 – стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения, 2 – карбонатно-терригенный известково-доломито-алевритопесчаный пестроцветный комплекс: немчанская (*Vnm*), подъемская (*Vpd*), суворовская (*Vsv*), мошакская (*Vms*), чистяковская (*Vcv*), аleshинская (*Val*) свиты, 3 – карбонатно-терригенный известково-песчано-алеврито-сланцевый комплекс: чивидинская (*R<sub>3</sub>cv*), карьерная (*R<sub>3</sub>krr*), лопатинская (*R<sub>3</sub>lp*) свиты, 4 – флишеидный карбонатно-терригенный углеродсодержащий известково-песчано-сланцевый комплекс: сухохребтинская (*R<sub>3</sub>sh*), горевская (*R<sub>3</sub>grv*), морянихинская (*R<sub>3</sub>mr*), дашкинская (*R<sub>3</sub>ds*), нижеангарская (*R<sub>3</sub>na*), мокринская (*R<sub>3</sub>mk*), рыбинская (*R<sub>3</sub>rb*), бореминская (*R<sub>3</sub>br*), удоронская (*R<sub>3</sub>ud*) свиты, 5 – углеродсодержащий карбонатно-терригенный доломито-известково-филлито-песчано-сланцевый комплекс: шунтарская (*R<sub>2</sub>sn*), потоскуйская (*R<sub>2</sub>pt*), аладьинская (*R<sub>2</sub>al*), карточка (*R<sub>2</sub>kr*) свиты, 6 – углеродсодержащий вулканогенно-карбонатно-терригенный туфоогенно-известково-филлито-песчано-сланцевый комплекс: погорюйская (*R<sub>2</sub>ud*), удерейская (*R<sub>2</sub>ud*), горбилковская (*R<sub>2</sub>gr*), кординская (*R<sub>2</sub>kd*) свиты, 7 – карбонатно-терригенный кристаллосланцевый комплекс: пенчингинская свита (*PR<sub>2</sub>pn*); 8–9 – интрузивные образования: 8 – плагиогранодиоритовый комплекс: татарско-аяхтинский гранодиорит-плагиогранитовый (*R<sub>3</sub>ta*), тейский гнейсогранитовый (*R<sub>2</sub>te*), 9 – ортоамфиболитовый метагаббровый комплекс: индыглинский комплекс (*R<sub>1</sub>i*); 10 – разрывные нарушения: а – зоны региональных разломов-надвигов, б – зоны региональных разломов, в – оперяющие к ним разрывы; 11 – месторождения и проявления коренного золота: а – весьма крупные, б – крупные, в – средние, г – проявления; 12 – промышленные линейные россыпи золота (разведываемые, разрабатываемые, отработанные); 13–16 – контуры: 13 – золоторудно-россыпных узлов, 14 – Средне-Ишимбинской перспективной площади, 15 – Марокского участка, 16 – поискового участка Южный; 17 – поисковый участок Южный (на врезке)



**Рис. 2. Геологическая карта Средне-Ишимбинской площади.** Составлена с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»:

1–21 – стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения; 2 – осланская серия: нижнеангарская свита ( $R_3la$ ): песчаники, алевролиты, сланцы глинистые, линзы известняков, доломитов, гравелитов; 3–7 – киргитейская серия: 3 – мокринская свита ( $R_3mk$ ): сланцы серицит-глинистые, линзы алевролитов, песчаников, известняков, 4 – рыббинская свита ( $R_3rb$ ): сланцы глинисто-серицит-хлоритовые, пачки и прослои известняков глинистых, известняков, доломитов строматолитовых, 5 – бореминская свита ( $R_3br$ ): сланцы известково-глинисто-серицитовые, известняки глинистые, прослои доломитов, 6 – удоронгская свита ( $R_3ud$ ): переслаивание сланцев глинисто-серицитовых, алевролитов и песчаников, прослои кварцитовидных песчаников, линзы микрокристаллических известняков, 7 – киргитейская серия нерасчлененная ( $R_3kg$ ): сероцветные аргиллиты, известковистые аргиллиты, прослои известняков, доломитов; 8–11 – тунгусикская серия: 8 – шунтарская свита ( $R_3sn$ ): филлиты углеродистые, метаалевоаргиллиты хлорит-серицитовые, прослои черных углеродистых глинистых метаизвестняков, 9–11 – потоскуйская свита: 9 – верхняя подсвита ( $R_3pt_2$ ): темно-серые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники, прослои хлоритоидных сланцев, известняков, доломитов, 10 – нижняя подсвита ( $R_3pt_1$ ): темно-серые метааргиллиты, метаалевролиты, с прослоями кварцитовидных песчаников, 11 – нерасчлененная ( $R_3pt$ ): глинистые, алевроглинистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники с пачками известняков, доломитов, кварцитовидных песчаников; 12–19 – сухопитская серия: 12 – аладынская свита и свита карточки объединенные ( $R_2al+kr$ ): известковисто-глинистые сланцы, мергели, метадоломиты зеленоцветные, метаизвестняки сероцветные и пестрые, сланцы серицитовые известковистые, 13 – погоруйская свита ( $R_2pg$ ): ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серицитовых, метаалевролитов, метапесчаников, кварциты, 14–17 – удерейская свита: 14 – верхняя подсвита ( $R_2ud_3$ ): темно-серые тонкополосчатые филлиты, известковистые сланцы, 15 – средняя подсвита ( $R_2ud_2$ ): темно-серые, зелено-серые сланцы и филлиты, прослои известковистых сланцев и песчаных известняков, 16 – нижняя подсвита ( $R_2ud_1$ ): темно-серые, черные сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые углеродсодержащие, 17 – нерасчлененная ( $R_2ud$ ): темно-серые, черные, реже зеленые сланцы и филлиты кварц-серицит-хлоритовые, углеродсодержащие, часто с сульфидами, 18 – горбилковская свита ( $R_2gb$ ): сланцы серицит-хлоритовые, хлорит-биотит-серицитовые, альбит-эпидот-хлоритовые (метатуфы базальтов) с магнетитом, часто тонкополосчатые, редкие тонкие прослои метапесчаников, 19 – кординская свита нерасчлененная ( $R_1kd$ ): сланцы, филлиты хлорит-серицит-кварцевые, углеродсодержащие, прослои и линзы известняков, кварцитовидных метапесчаников, метагравелитов; 20–21 – тейская серия: 20 – пенченгинская свита ( $PR_1pn$ ): кристаллические сланцы с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном, графитом, прослои кварцитов, слюдистых кварцитов, графитистых и слюдистых мраморов, амфиболитов, 21 – свита хребта Карпинского ( $PR_1hk$ ): кристаллические сланцы с амфиболом, дистеном, андалузитом, силлиманитом, гранатом, графитом, прослои кварцитов, слюдистых кварцитов; 22–24 – интрузивные образования: 22 – индыглинский комплекс ( $v-\beta R_1i$ ): ортоамфиболиты, метагаббро, 23–24 – татарско-аяхтинский комплекс: 23 – третья фаза ( $v\epsilon R_3ta$ ): лейкократовые равнозернистые граниты, граносиениты, сиениты, 24 – вторая фаза ( $v_2 R_3ta$ ): граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты; 25–26 – разрывные нарушения: 25 – осевые зоны региональных глубинных рудоконтролирующих разломов, 26 – прочие (1–3 порядков), в том числе выделяемые по геофизическим данным; 27 – линии опорных профилей; 28–31 – контуры: 28 – Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла, 29 – Средне-Ишимбинской площади, 30 – Марокского поискового участка, 31 – поискового участка Южный

рассматриваемая площадь отнесена к Северо-Енисейскому рудному району, который включает в себя основные золоторудные объекты Енисейского кряжа, такие как Олимпиадинское, Благодатное, Ведугинское, Эльдорадо, Советское и ряд других месторождений [2, 3, 12, 14]. Ведущая рудоконтролирующая роль в регионе отводится системе Ишимбинского глубинного долгоживущего разлома север-северо-западной ориентировки, имеющего форму надвига. Рудолокализирующие разрывные нарушения, как правило, сонаправлены Ишимбинскому разлому, имеют сбросо-взбросовый характер и осложнены более мелкими сбросо-сдвигами северо-восточной ориентировки [3, 4, 10, 12].

В геологическом строении Средне-Ишимбинской площади участвуют породы кристаллического фундамента: пенченгинская свита ( $PR_1pn$ ), углеродсодержащие карбонатно-терригенные отложения сухопитской серии: кординская ( $R_1kd$ ), горбилковская ( $R_2gr$ ), удерейская ( $R_2ud$ ), погоруйская ( $R_2pg$ ), аладынская и карточки ( $R_2al+kr$ ) свиты, а также карбонатно-терригенные отложения тунгусикской серии: потоскуйская свита

( $R_3pt$ ) (рис. 2) [12, 14, 16]. В западной части площади выходит на дневную поверхность крупный Нижне-Чиримбинский гранитоидный массив татарско-аяхтинского интрузивного комплекса ( $R_3ta$ ). Средне-Ишимбинская площадь находится на границе переходной градиентной зоны фаций регионального метаморфизма – от зеленосланцевой фации на восточном фланге до эпидот-амфиболитовой на западном фланге. Изограда биотита тяготеет к осевой зоне Ишимбинского разлома.

**Методика исследований.** Средне-Ишимбинская площадь охватывает Нижне-Чиримбинский рудно-россыпной узел, в пределах которого работами ОАО «Красноярскгеолсъемка» было выявлено Марокское рудопроявление золотомалосульфидно-кварцевого типа (В.А.Москалев и др., 2012). Однако на большей части рассматриваемой площади предшествующими поисковыми работами были выявлены лишь немногочисленные пункты минерализации (А.Я.Курилин и др., 1968; А.И.Вызу и др., 1987). По мнению авторов данной публикации это связано с тем, что исследуемая территория характеризуется сложным «закрытым»

горно-таежным ландшафтом, затрудняющим проведение поисковых работ. В таких условиях традиционные методы поисков оказываются недостаточно эффективными, так как информативный для оценки золотоносности надкоренной элювиально-делювиальный слой перекрыт дальнепринесенными отложениями. Стандартное литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния (ВОР) подпочвенного горизонта зачастую не позволяет выявлять аномалии золота и сопутствующих элементов. С учетом этого, с целью установления максимально достоверных данных по коренной золотоносности перспективной площади при поисковых работах применялась «Экспрессная методика поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах» [5, 6], успешно апробированная ФГУП ЦНИГРИ на ряде золоторудных объектов в Центрально-Алданском, Бодайбинском, Центрально-Кольмском и других рудных районах [13]. Методика позволяет в достаточно короткие сроки, с использованием минимального объема горно-буровых работ оценить золотоносность и ресурсный потенциал поисковых площадей и участков.

Поисковые работы осуществлялись в несколько последовательных этапов.

На *первом этапе* поисков перспективная площадь была изучена серией опорных геолого-геофизических профилей с целью выявления рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (рассланцевания). Длина профилей до 12 км, расстояние между ними 4–5 км. Исследования включали комплекс геологических (геолого-поисковые маршруты), геохимических (литохимическое опробование по ВОР подпочвенного горизонта на глубине 0,3–0,4 м, литохимическое по вторичным ореолам рассеяния и сколковое опробование нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов глубиной 1 м, пройденных с интервалом 800 м между шурфами) и геофизических методов. На этом же этапе осуществлялись геохимические поиски по потокам рассеяния (ПР) масштаба 1:50 000 [11].

Геофизические исследования включали в себя применение электро-, грави-, магниторазведочных методов по линиям опорных профилей. Кроме того, был проведен анализ и интерпретация данных предшествующих работ (В.В.Ромашко и др., 2006). В результате был существенно уточнен структурно-тектонический каркас площади работ. Анализ структурного рисунка магнитного поля позволил выделить и ранжировать тектонические нарушения. Так, в южной части Средне-Ишимбинской площади были выделены зоны поперечных разрывных нарушений северо-восточного простирания. Установлено, что рудопоявление Южное приурочено к участку разрушения («распада») структуры магнитного поля – области резкого ослабления интенсивности линейных магнитных аномалий и полного градиента магнитного поля (рис. 3). Предполагается,

что «распад» структуры магнитного поля связан с разрушением осадочно-метаморфогенного пирротина в результате гидротермально-метасоматического преобразования. Разрушение магнитного поля является косвенным благоприятным признаком наличия золоторудного процесса [15].

В региональной компоненте поля силы тяжести ( $\Delta g_{\text{Буге}}$ ) Средне-Ишимбинская площадь приурочена к гравитационному максимуму, связанному с выступом относительно плотного ( $2,8 \text{ г/см}^3$ ) дорифейского фундамента (пенченгинская свита).

В локальной компоненте поля силы тяжести ( $\Delta g_{\text{лок}}$ ) (рис. 4), вычисленной путем осреднения поля  $\Delta g_{\text{Буге}}$  в круглом окне диаметром 4 км и последующим вычитанием результатов осреднения из исходного поля, отчетливо проявлены линейные положительные и отрицательные аномалии северо-западной ориентировки. В центральной части Средне-Ишимбинской площади в районе Марокского рудного поля выделяется положительная аномалия, вытянутая вдоль осевой зоны Ишимбинского разлома. Аномалия находится в пределах выходов пород удерейской свиты и при этом ограничена по простиранию. В результате поисковых работ в пределах Марокского рудного поля было установлено, что повышенная плотность пород обусловлена объемной гидротермально-метасоматической железомagneзиальной карбонатизацией и сульфидизацией пород.

На восточном фланге площади выделяется отрицательная аномалия (до  $-2 \text{ мГал}$ ), приуроченная к контакту свит аладынской и карточки с вышележащей потоскуйской свитой. Минимуму отвечают низкоплотные породы ( $2,55\text{--}2,6 \text{ г/см}^3$ ), представленные кварцевыми песчаниками, кварцитами, а также известковисто-глинистыми сланцами. Пониженная объемная плотность пород позволяет предположить, что данный стратиграфический уровень обладает повышенной пористостью и соответственно повышенной проницаемостью для флюидов.

Электроразведка методом вызванной поляризации (ВП) позволила выделить участки наложенной сульфидизации. Аномалии поляризуемости над зонами сульфидизации имеют умеренную интенсивность (2–4%) и тяготеют к участкам рассланцевания и дробления в зоне влияния Ишимбинского разлома.

Комплексирование методов поисков позволило уже на первом этапе исследований определить наиболее перспективные поисковые участки для проведения дальнейших геологоразведочных работ в пределах выявленных рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (ЗСРД) (рассланцевания). Помимо геофизических данных, перспективные участки выделялись по первичным (ПО) и вторичным ореолам рассеяния, наличию прожилково-вкрапленной железомagneзиальной карбонатизации (бурошпатизации) и сульфидизации, кварцевой жильно-прожилковой минерализации в элювиально-делювиальных отложениях.

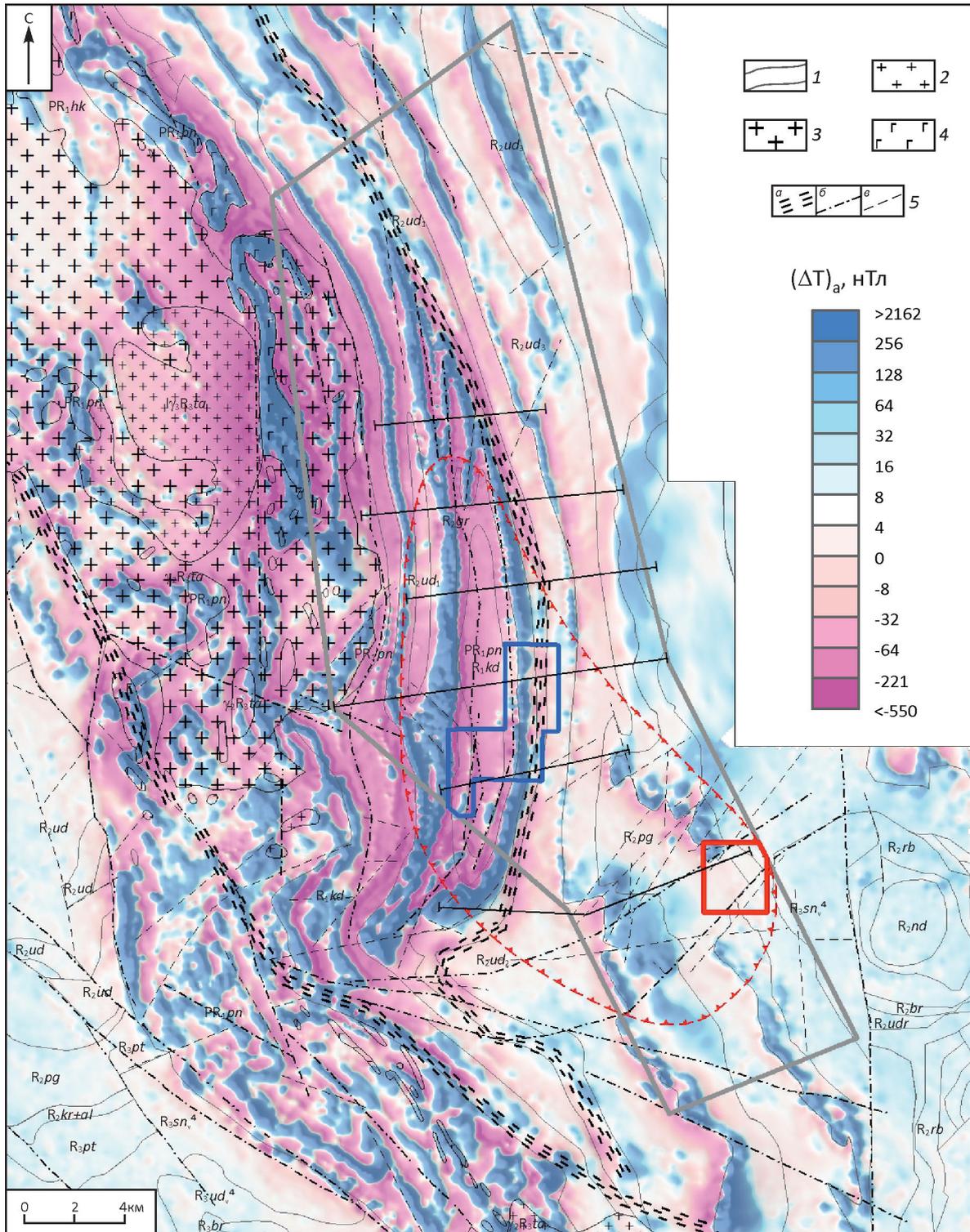


Рис. 3. Карта аномального магнитного поля в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади. По материалам аэро съемки масштаба 1: 25 000 (В.В.Ромашко и др., 2006):

1 – геологические границы свит и их индексы; 2–3 – гранитоиды татарско-аяхтинского комплекса: 2 – третьей (лейкократовые равномернoзернистые граниты, граносиениты, сиениты) и 3 – второй (граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты) фаз; 4 – выходы интрузивов индыглинского комплекса (ортоамфиболиты, метагаббро); 5 – тектонические нарушения, выделенные по комплексу геолого-геофизических данных: а – осевые зоны региональных разломов I-II порядков, б – разрывные нарушения III-го порядка, в – секущие разрывы; см. услов. обозн. к рис. 2

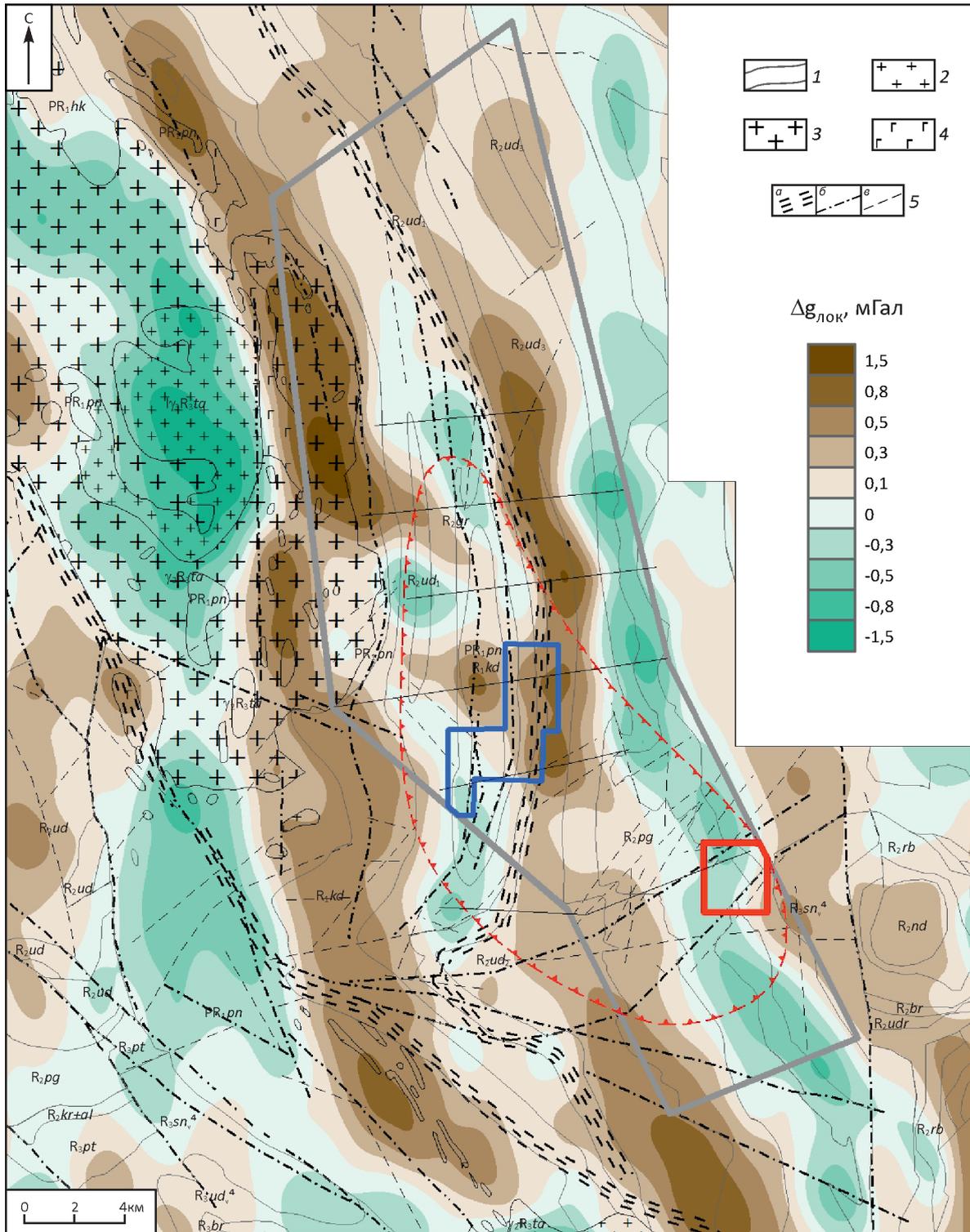


Рис. 4. Карта локальной составляющей поля силы тяжести ( $\Delta g_{\text{лок}}$ ) в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади ( $R_{\text{ср}} - 2 \text{ км}$ ). По материалам съемки масштаба 1: 200 000 и с использованием результатов профильной съемки:

1 – геологические границы свит и их индексы; 2–3 – гранитоиды татарско-аяхтинского комплекса: 2 – третьей (лейкократовые равномернозернистые граниты, граносиениты, сиениты) и 3 – второй (граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты) фаз; 4 – выходы интрузивов индыглинского комплекса (ортоамфиболиты, метагаббро); 5 – тектонические нарушения, выделенные по комплексу геолого-геофизических данных: а – осевые зоны региональных разломов I–II порядков, б – разрывные нарушения III-го порядка, в – секущие разрывы; см. услов. обозн. к рис. 2

На *втором этапе* поисковых работ в пределах перспективных поисковых участков осуществлялись площадные литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, проходка линий копушей глубиной 0,8–1 м, геолого-поисковые маршруты масштаба 1:10 000. Площадные литохимические поиски по ВОР велись по нестандартной сети 200×20 м, глубина опробования – 0,3–0,4 м. Проходка линий копушей глубиной 0,8–1,0 м осуществлялась по нижним бортам склонов с интервалом 20–40 м между копушами с целью шлихового и литохимического опробования по ВОР нижнего надкоренного малосмещенного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений [11]. По результатам поисков второго этапа были локализованы вторичные ореолы рассеяния (>0,1 г/т) и шлиховые (>10 знаков металла на шлиховую пробу) ореолы золота, отвечающие положению потенциально золотоносных минерализованных зон.

На *третьем этапе* поисков с целью локализации минерализованных зон выполнялась проходка линий шурфов до коренных пород с интервалом 10–20 м между шурфами и бульдозерных расчисток глубиной 1 м со шлиховым и литохимическим по ВОР опробованием нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов на глубине 1,0–1,4 м, а также борздовым опробованием коренных пород в полотне шурфов. По результатам опробования были выделены наиболее минерализованные участки с содержанием золота >0,1 г/т в первичных и вторичных ореолах рассеяния для вскрытия бульдозерными расчистками. Поиски этого этапа позволили локализовать золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное, выделяемые по содержаниям >0,1 г/т золота в первичных ореолах.

Важным представляется то, что результаты литохимического по ВОР опробования нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений существенно отличаются от данных стандартного опробования на глубине 0,3–0,4 м, выявляя наиболее высокие аномальные концентрации золота, установленные именно по результатам литохимического опробования на контакте с коренными породами по горным выработкам. Аномалии золота во вторичных ореолах практически совпадают с повышенными содержаниями металла в первичных ореолах.

Завершающий *четвертый этап* поисков – комплекс горно-буровых работ. Наиболее минерализованные участки в пределах золотоносных зон были вскрыты траншеями до коренных пород. По результатам борздового опробования полотна траншей выявлены эпицентры повышенных содержаний золота в ПО (>0,3 г/т). Последние были «подсечены» несколькими буровыми скважинами. В результате выявлена серия потенциально рудных зон.

В заключение методической части настоящей статьи следует отметить, что новыми и наиболее эффектив-

ными особенностями используемой методики являются: 1) комплексирование методов поисков по опорным профилям, позволяющее уже на раннем этапе изучения поисковых площадей определить наиболее перспективные потенциально рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций и поисковые участки в их пределах; 2) литохимическое по вторичным ореолам рассеяния опробование нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений, позволяющее максимально точно локализовать золотоносные минерализованные зоны, непосредственно определить участки для последующих горно-буровых работ и, соответственно, минимизировать затраты на проведение геологоразведочных работ.

**Геолого-геофизические особенности локализации золотоносных минерализованных зон.** Рудопроявление Южное в структурном плане приурочено к восточному крылу Певунской горст-антиклинали первого порядка в зоне динамического влияния (около 6 км восточнее) Ишимбинской системы рудоконтролирующих разломов. Непосредственно рудопроявление приурочено к рудоконтролирующей ЗСРД север-северо-западного простирания, представляющей собой одну из ветвей Ишимбинской системы разломов. Зона расланцевания длиной более 4 км с установленной шириной около 1,5 км характеризуется интенсивной тектонической проработкой, смятием, наличием флексурных перегибов. Она осложнена системой секущих предположительно сингранитных восток-северо-восточных разрывных нарушений (рис. 5). Восточное крыло Певунской горст-антиклинали представляет собой пологую моноклинал. Падение пород варьирует от 20° до 60°, что обусловлено мелкой осложняющей складчатостью.

Рудопроявление Южное расположено в зоне развития низкотемпературных метаморфических образований – серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, что может являться косвенным благоприятным фактором для золотого оруденения [1, 4, 9, 13]. Один из главных признаков рудообразующего процесса – интенсивно проявленная бурошпатизация, протекающая одновременно с серицитизацией, хлоритизацией и пиритизацией, развивающаяся в условиях «зоны хлорита». Количество порфириобласт анкерита в участках наиболее интенсивной бурошпатизации достигает 40–60%. Первичная ромбическая морфология порфириобластов при последующих пластичных деформациях приобретает округлые очертания (рис. 6). Наиболее детально этот вопрос освещен в работах А.И.Иванова, в которых показано, что формирование золоторудных месторождений происходит в пределах рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций при наложении на них низкотемпературных процессов сингранитного этапа, наиболее интенсивно проявленных в секущих тектонических структурах [5, 6, 13].

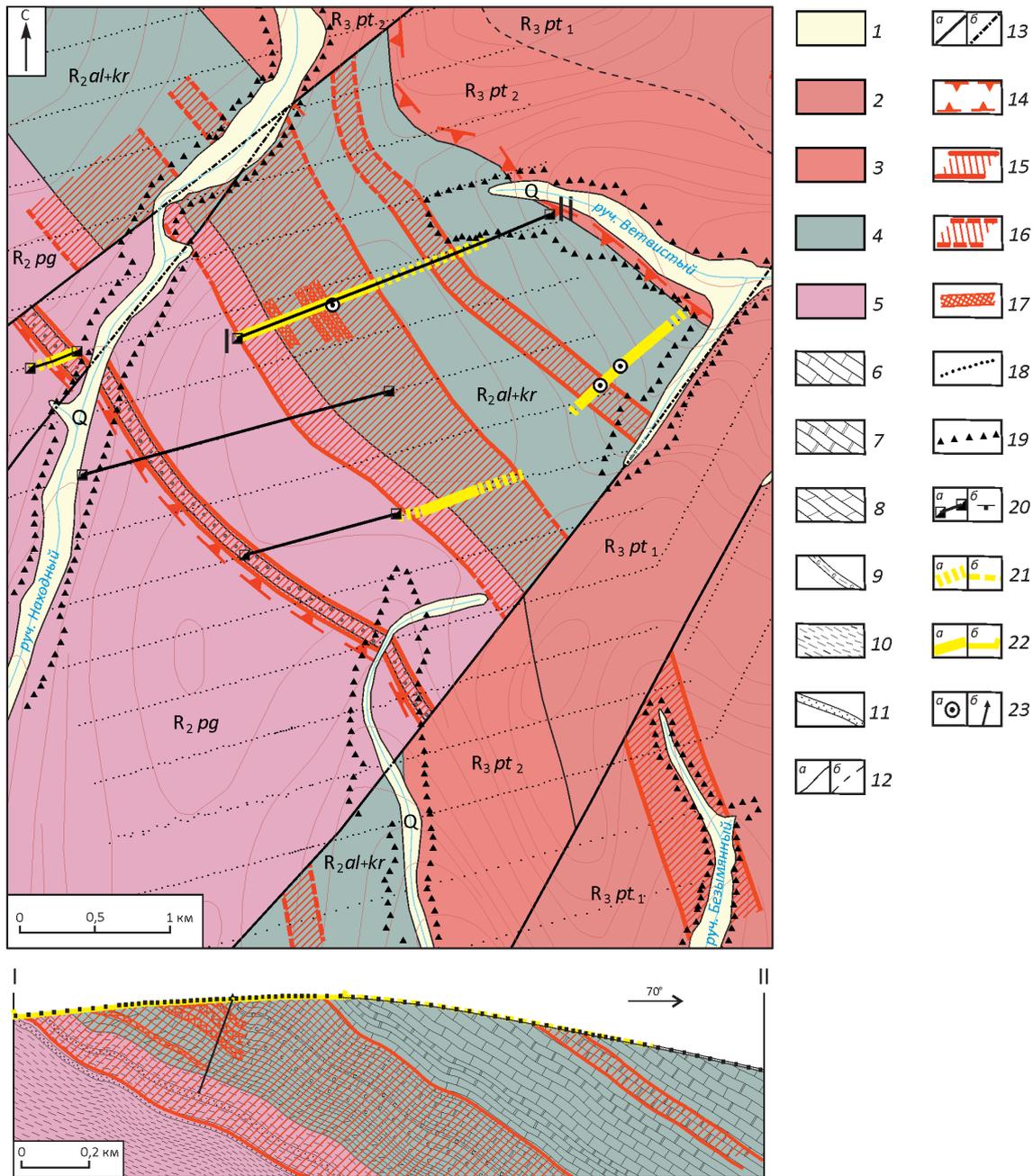


Рис. 5. Геологическая схема поискового участка Южный и геологический разрез по линии I-II:

1 – четвертичные рыхлые отложения; 2–5 – углеродистые карбонатно-терригенные отложения рифея: 2–3 – тунгусикская серия, потоскуйская свита: 2 – верхняя подсвита: глинистые сланцы с прослоями известняков, 3 – нижняя подсвита: алеврито-глинистые сланцы с прослоями известняков и доломитов, 4–5 – сухопитская серия: 4 – свиты аладынская и карточки объединенные: известняки участками мраморизованные, известковистые доломиты с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев, 5 – погорюйская свита: алеврито-глинистые сланцы; 6–11 – литологические обозначения (на разрезе): 6 – известняки, 7 – мраморизованные известняки, 8 – известковистые доломиты, 9 – углеродсодержащие известковисто-глинистые сланцы, 10 – алеврито-глинистые сланцы, 11 – кварцитовидные песчаники с прослоями кварцитов; 12 – геологические границы: а – установленные, б – предполагаемые; 13 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 14 – рудоконтролирующая зона рассланцевания (на плане); 15–16 – золотоносные минерализованные зоны: 15 – установленные, 16 – предполагаемые; 17 – потенциально рудные зоны; 18 – точки литохимического опробования по ВОР; 19–23 – горные выработки: 19 – копуши глубиной 0,8–1,0 м, 20 – шурфы: а – на плане, б – на разрезе, 21 – бульдозерные расчистки глубиной 1 м: а – на плане, б – на разрезе, 22 – бульдозерные траншеи, пройденные до коренных пород: а – на плане, б – на разрезе, 23 – скважины: а – на плане, б – на разрезе

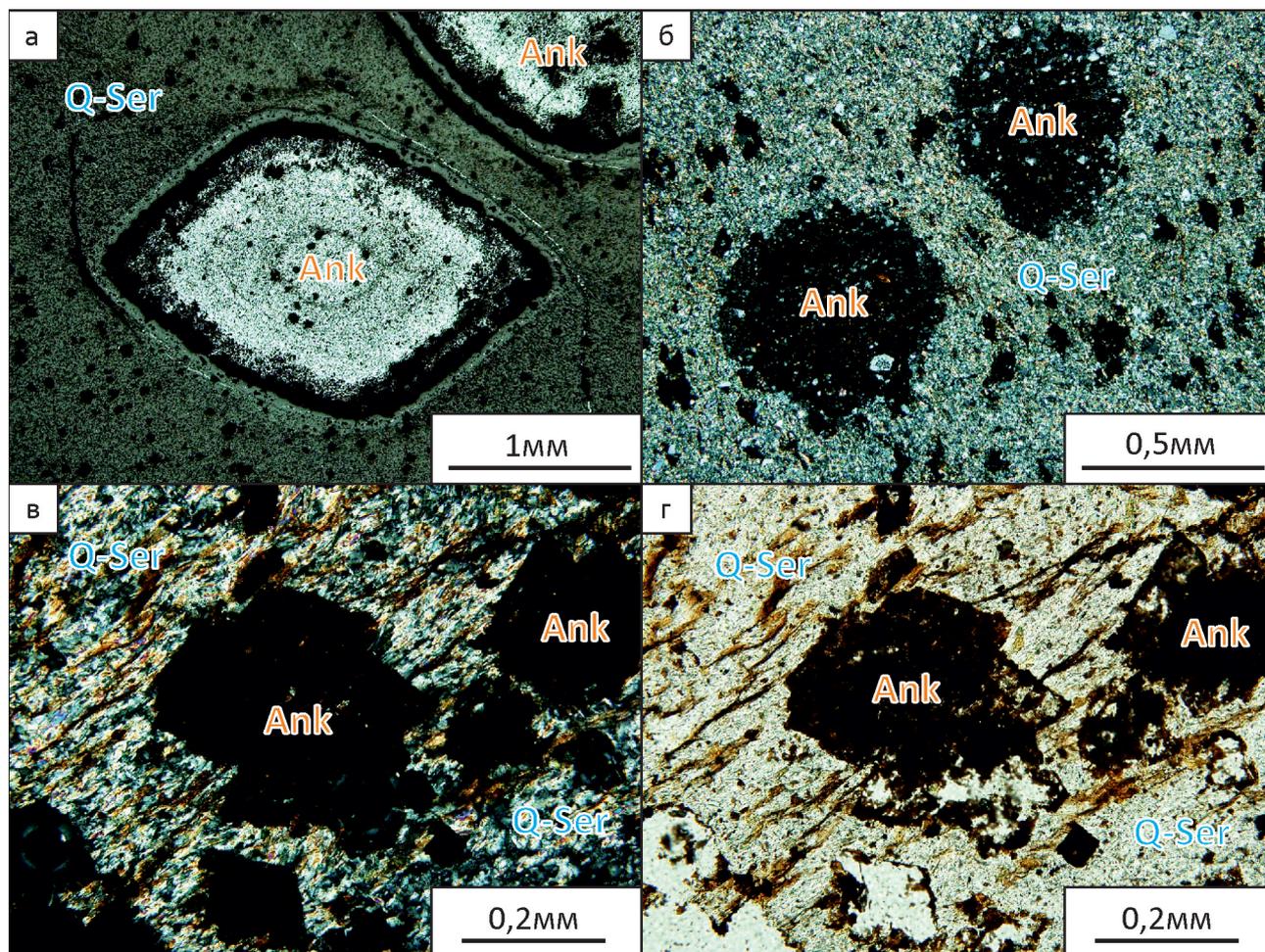


Рис. 6. Формы выделений бурого шпата:

а – порфиробласты окисленного бурого шпата (псевдоморфозы гетита по анкериту); б – выщелоченные порфиробласты бурого шпата в кварц-серицитовых сланцах; в-г – кварц-серицитовые сланцы с порфиробластами окисленного бурого шпата; Ank – анкерит, Q-Ser – кварц-серицитовый агрегат

В пределах золотоносных минерализованных зон содержание бурого шпата (анкерит, сидерит) достигает 60%, а на удалении от них – обычно до 10–20%. Пирит и ассоциирующий с ним бурый шпат отличаются повышенным содержанием тонкодисперсного и субмикроскопического золота (рис. 7). В зонах развития кварцевой жильно-прожилковой минерализации бурый шпат слагает зальбанды жил и прожилков.

Сульфидизация – один из наиболее интенсивно проявленных процессов в пределах рудоконтролирующей ЗСРД. Сульфидная минерализация развита в основном в виде разноразмерной вкрапленности пирита. В пределах золотоносных минерализованных зон преобладает тонкая (не более 1 мм) вкрапленность пирита, составляющая в среднем 2–3%. Вкрапленность как кубической, так и осложненных форм (кубиктаэдри, пентагондоде-

каэдри и др.). В пределах кварцевых жильно-прожилковых зон вкрапленность пирита развита, как правило, в их экзоконтактах. По данным микроскопических исследований пирит содержит тонкодисперсное золото.

Золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное представляют собой интенсивно измененные бурошпатизированные, серицитизированные, неравномерно окварцованные, сульфидизированные породы. Содержание сульфидной вкрапленности в пределах минерализованных зон в среднем составляет около 3–5%. Причем вкрапленность пирита приурочена как к зонам развития тонких кварцевых прожилков, слагая их экзоконтактовые части в виде ореолов, так и вне связи с ними. Выявленные минерализованные зоны локализованы в углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладынской и карточки и

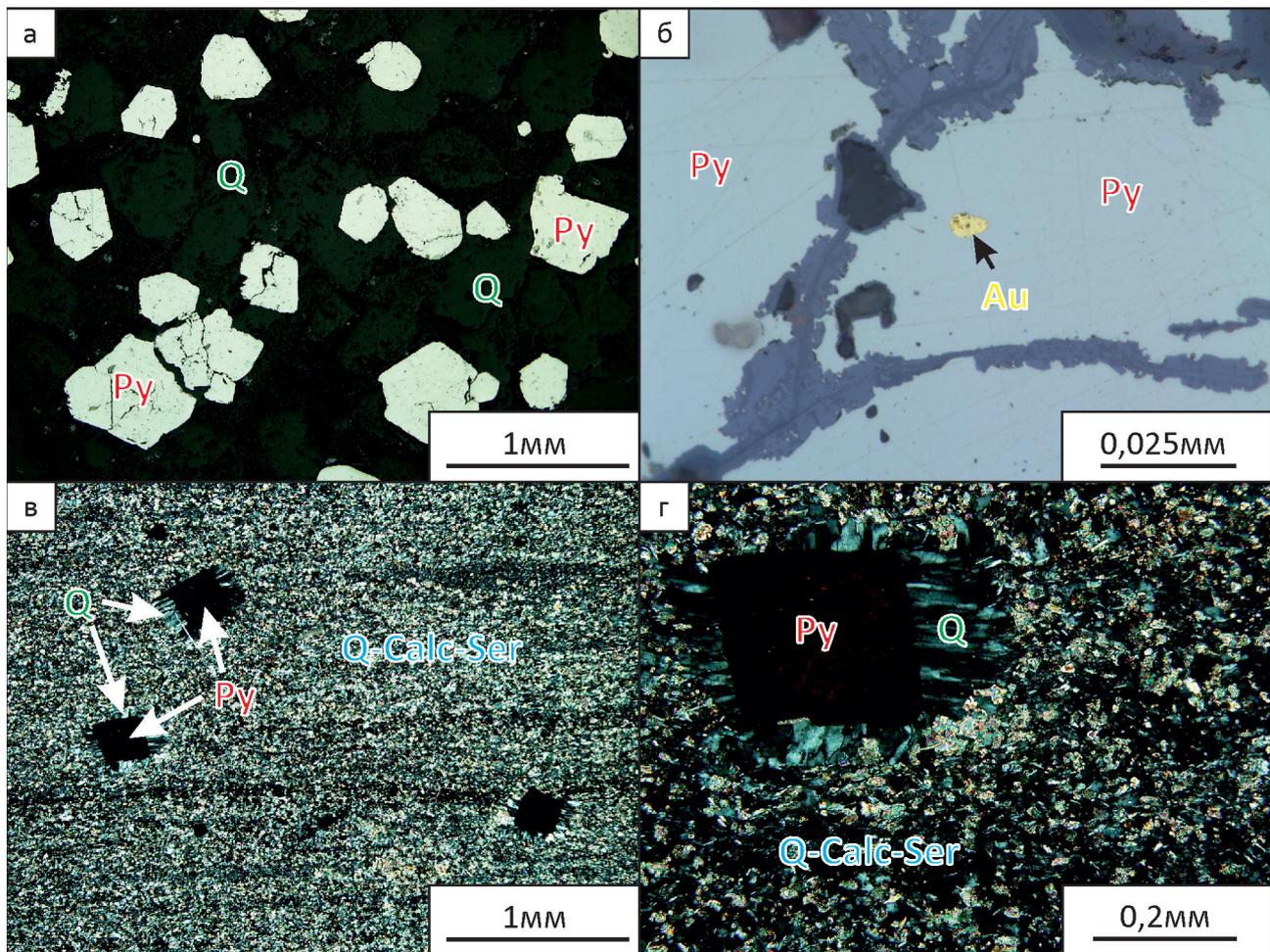


Рис. 7. Формы выделений пирита:

а – формы выделений кристаллов пирита; б – субмикроскопическое выделение золота в кристалле пирита; в-г – кварц-кальцит-серицитовые сланцы с кристаллами пирита с «венчиками» кварца стебельчатой структуры; Py – пирит, Q – кварц, Au – золото, Q-Ser-Calc – кварц-серицит-кальцитовый агрегат

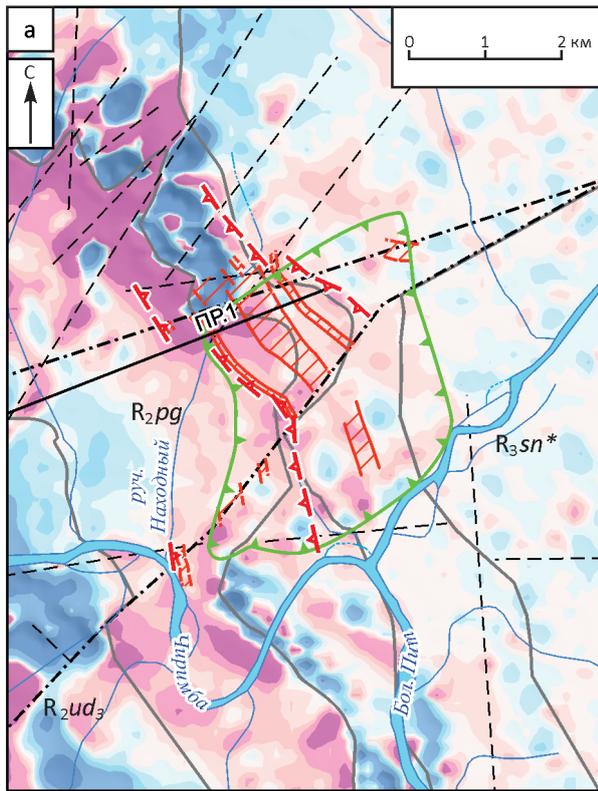
«тяготеют» к приконтактовой зоне с нижележащей терригенной толщей погорюйской свиты.

Наиболее перспективной для обнаружения промышленного золотого оруденения является зона Центральная, выявленная в центральной части рудопоявления. Ширина ее выхода на дневную поверхность составляет

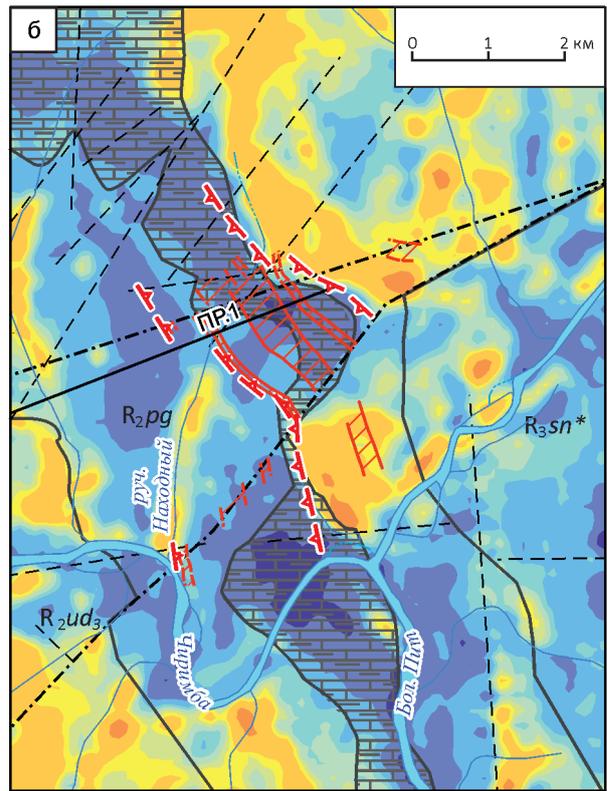
около 800 м, протяженность превышает 2000 м. Прослеженная длина по падению составляет более 150 м. Зона имеет субсогласную слоистости ориентировку. Морфологически зона характеризуется сложным линейно-изометричным штокверкоподобным строением и представляет собой субсогласную залежь (зону) рассеянной

Рис. 8. Отражение рудопоявления Южное в геофизических полях:

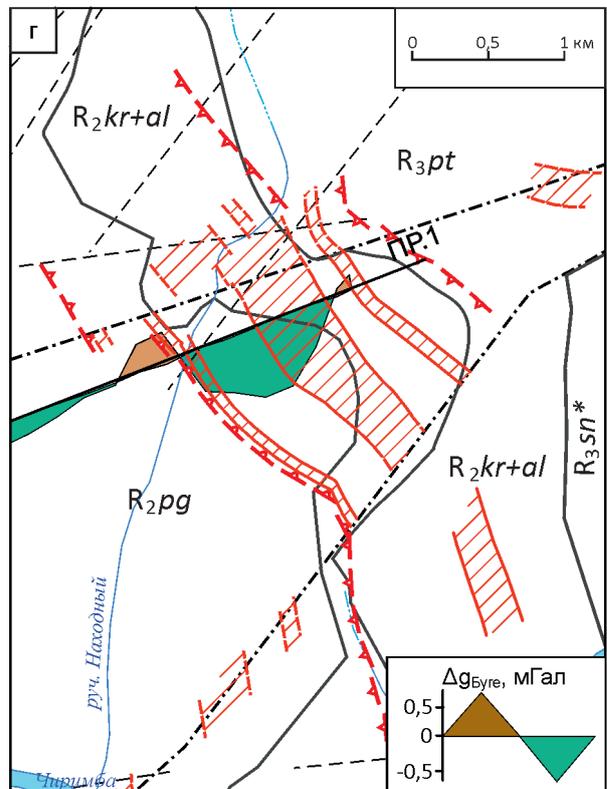
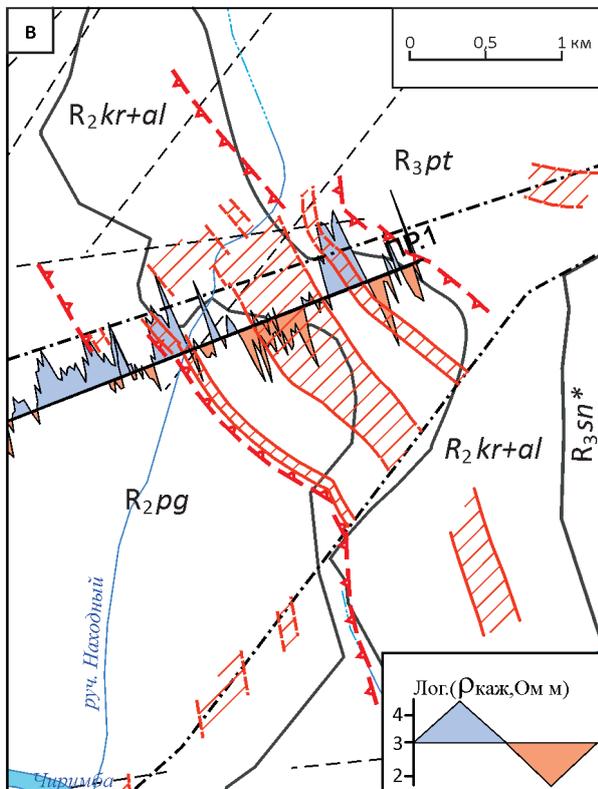
а – локальная составляющая аномального магнитного поля (продолжение вверх на 100 м с последующим вычитанием); б – естественная радиоактивность (МЭД); в – график кажущегося удельного сопротивления по опорному профилю 1; г – график  $\Delta g_{\text{лок}}$  по опорному профилю 1; 1 – границы геологических свит и подсвит: верхнеудерейская подсвита удерейской свиты ( $R_{2ud_3}$ ), погорюйская свита ( $R_{2pg}$ ), объединенные свиты аладьинская и карточки ( $R_{2al+kr}$ ), потоскуйская свита ( $R_{3pt}$ ), шунтарская свита ( $R_{2sn^*}$ ); 2 – выходы свит аладьинской и карточки объединенных ( $R_{2al+kr}$ ); 3 – разрывные нарушения: а – всбросо-сдвиги, б – секущие разрывы; 4 – область разрушения структурного рисунка магнитного поля; 5 – предполагаемая рудоконтролирующая зона рассланцевания; 6 – золотоносные минерализованные зоны: а – установленные, б – предполагаемые; 7 – линия опорного профиля 1



( $\Delta T$ )<sub>а</sub>, нТл  
 < -3 -2 -1,5 -0,5 0 1 1,5 3 8 >50



МЭД, мкр/ч  
 < 4 6 7 7,5 8 8,5 9 11 15 23



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

сульфидной вкрапленности. Она не имеет четких границ и оконтурена по содержаниям золота в первичных ореолах от 0,1 г/т по данным бороздового и кернового опробования (пробирно-атомно-абсорбционный анализ).

В пределах зоны Центральная выявлены потенциально рудные зоны, представляющие собой стержневые (осевые) золотокварцевые жильно-прожилковые зоны, отвечающие эпицентру наиболее высоких содержаний золота ( $>0,3$  г/т). Потенциально рудные зоны приурочены к прослоям углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев. Мощность этих зон достигает 40 м, протяженность – до 150 м. Всего выделено 4 потенциально рудные зоны, которые на глубине предположительно формируют единую зону мощностью около 80 м.

Выявленные субсогласные золотоносные минерализованные зоны предварительно могут быть отнесены к золото-кварц-сульфидному типу с осевыми жильно-прожилковыми зонами с наиболее высокими содержаниями золота.

В геофизических полях рассматриваемый перспективный участок в пределах зон складчато-разрывных деформаций характеризуется следующим рядом признаков:

1. В аномальном магнитном поле выделяется участок «выпадения» (разрушения или «распада») магнитных маркирующих горизонтов в составе погорюской и аладьинской свит (рис. 8, а) в результате гидротермально-метасоматического преобразования первичного осадочно-метаморфогенного пирротина в пирит. Область «распада» структурного рисунка магнитного поля почти точно оконтуривает рудопроявление.

2. Центральная минерализованная зона отмечается низкой радиоактивностью ( $<4$  мкР/ч) за счет существенно карбонатного состава вмещающих пород, а также в результате наложенной железомagneзиальной карбонатизации. При обработке материалов данных аэрогамма-спектрометрической съемки методом АРК было установлено, что Центральная минерализованная зона тяготеет к краю области, слабо обогащенной калием и ураном (см. рис. 8, б). Повышение урана и калия, вероятно, обусловлено наложенной серицитизацией пород в результате синрудного метасоматоза.

3. По результатам профильных наблюдений установлено, что минерализованные зоны тяготеют к гравитационному минимуму над выходами кварцитовидных песчаников и кварцитов в составе аладьинской свиты, которые также отчетливо выделяются аномалиями высокого кажущегося сопротивления (см. рис. 8, в–г). Пониженная плотность пород, несмотря на широко проявленную железомagneзиальную карбонатизацию в пределах зон складчато-разрывных деформаций, скорее всего, связана с повышенной рассланцованностью и трещиноватостью пород. Наиболее перспективная Центральная минерализованная зона выделяется участком пониженного сопротивления за счет ее

локализации в рассланцованных слабо углеродистых известковисто-глинистых сланцах. Несмотря на обогащенность минерализованных зон пиритом, они не выделяются аномалиями поляризуемости. Напротив, над Центральной минерализованной зоной наблюдается понижение поляризуемости. Причиной этого, по-видимому, является большая мощность зоны гипергенеза в пределах минерализованных зон и повышенная степень окисленности сульфидов.

По результатам геофизических исследований можно заключить, что наиболее информативным геофизическим признаком наложенных гидротермально-метасоматических процессов является «распад» структурного рисунка магнитного поля. Кроме того, обращает на себя внимание пониженная плотность рудовмещающих пород, что может свидетельствовать об их высокой проницаемости для рудонесущих флюидов.

Результаты выполненных исследований позволяют выделить основные геолого-геофизические признаки золотой минерализации рудопроявления Южное. К ним относятся: 1) локализация в зоне динамического влияния Ишимбинского глубинного рудоконтролирующего разлома в узле пересечения секущими разрывами северо-восточного направления; 2) приуроченность к пологому крылу антиклинали в ЗСРД, осложненной флексурными перегибами и мелкой складчатостью; 3) локализация в углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладьинской и карточки среднего рифея; 4) пространственное удаление ( $>10$  км) от крупного, выходящего на поверхность интрузивного гранитоидного массива; 5) приуроченность к хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма; 6) субсогласные штокверкоподобные минерализованные зоны (прожилково)-вкрапленной сульфидной минерализации золото-кварц-сульфидного типа с линейными стержневыми маломощными кварцевыми жильно-прожилковыми зонами, характеризующимися наиболее высокими концентрациями золота; 7) зона «распада» структурного рисунка магнитного поля, область низкой пониженной радиоактивности, аномалии пониженного сопротивления и поляризуемости, гравитационный минимум в поле силы тяжести.

Таким образом, установлены прогнозно-поисковые геолого-геофизические признаки, по сочетанию которых можно проводить прогнозирование аналогичных объектов в зоне влияния Ишимбинского разлома.

В заключение отметим следующее. В качестве аналогов исследуемого объекта, по мнению авторов, следует рассматривать крупнообъемные золоторудные месторождения золотосульфидного типа с минерализованными зонами послойной сульфидной вкрапленности (Олимпиадинское, Ведугинское) в отложениях терригенно-карбонатного состава [14, 18]. Некоторые особенности геологического строения и специфики золотой минерализации рудопроявления Южное, такие как существенно карбонатный известково-глинистый

состав рудовмещающих толщ, стратифицированный характер минерализованных зон и рудных тел, прожилково-вкрапленное оруденение, сульфидный состав руд с тонкодисперсными (микронными) выделениями золота в сульфидах, могут быть сопоставимы с месторождениями и проявлениями «карлинского» типа [8, 17].

Наиболее важным научно-практическим результатом исследований представляется установленный факт золотоносности углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложений свит аладьинской и карточки среднего рифея, считавшихся ранее неперспективными на выявление золоторудной минерализации. В этой связи очевидны перспективы золотоносности восточного склона Енисейского кряжа, особенно в области зоны влияния Ишимбинского глубинного рудоконтролирующего разлома.

Рудопроявление Южное требует дальнейшего изучения как с научной (изучение вмещающих пород и руд, роль углеродистого вещества в процессе формирования золотоносных минерализованных зон и др.), так и с практической точки зрения (выявление промышленных золоторудных тел в пределах установленных золотоносных минерализованных зон).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982.
2. Геологическое строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полюс» в Красноярском крае // В.К.Совмен, Ю.М.Страгис, А.А.Плеханов и др. – Красноярск: Полюс, 2009.
3. Геолого-структурная позиция и типизация золоторудных полей восточной части Енисейского кряжа / А.М.Сазонов, Е.А.Звягина, Т.В.Полева и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. С. 94–101.
4. Забияка А.И., Курганьков П.П., Гусаров Ю.В. Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья. – Красноярск: КНИИГиМС, 2003.
5. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
6. Иванов А.И. Роль метаморфизма в золотом рудообразовании в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных комплексах на примере Байкало-Патомской металлогенической провинции и его отражение в прогнозно-поисковых моделях // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2015. С. 61–62.
7. Иванов А.И. Экспрессный метод поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах // Руды и металлы. 2014. № 1. С. 36–42.
8. Константинов М.М. Золоторудные месторождения типа карлин и критерии их выявления // Руды и металлы. 2000. № 1. С. 70–76.
9. Летников Ф.А. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. 2000. № 1. С. 3–22.
10. Ли Л.В., Нелюбов В.А. Структурные особенности локализации золотого оруденения некоторых месторождений Енисейского Кряжа // Геология и геофизика. 1970. № 10. С. 45–51.
11. Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С., Курмаев А.В. Применение экспрессной методики поисков золоторудных месторождений в горно-таежных ландшафтах на примере поисковых работ на большеобъемное золотое оруденение в пределах Средне-Ишимбинской площади // Руды и металлы. 2015. № 4. С. 39–50.
12. Модели месторождений золота Енисейской Сибири / С.С.Сердюк, Ю.Е.Коморовский, А.И.Зверев и др. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010.
13. Новые данные по технологии прогноза, поисков и оценки большеобъемных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах / А.И.Иванов, В.Е.Васюков, Р.Х.Мансуров и др. // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы. Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2016. С. 24–26.
14. Прогнозно-поисковые модели основных формационных типов золоторудных месторождений Енисейского кряжа / А.К.Мкртычян, Е.И.Берзон, В.К.Зуев и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. С. 46–62.
15. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов, золота, меди, свинца, цинка Российской Федерации (по результатам работ ФГУП ЦНИГРИ за 2012–2015 гг.) / А.И.Иванов, С.С.Вартанян, А.И.Черных и др. // Отечественная геология. 2016. № 5. С. 11–62.
16. Фисенко В.Г. Предпосылки и признаки золоторудной минерализации северо-восточного склона Енисейского кряжа и перспективы промышленной золотоносности // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Красноярск, 2016.
17. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models / J.S.Cline, A.S.Hofstra, J.L.Muntean et al. // Econ. Geol. 2005. Vol. 100. Pp. 451–484.
18. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation / A.S.Borisenko, A.M.Sazonov, P.A.Nevolko et al. // Acta Geologica Sinica. 2014. Vol. 88. № 2. Pp. 686–687.

## Новые данные по структуре, минералогии, геохимии золоторудного месторождения Каральвеем (Чукотка)

М.Н.КОНДРАТЬЕВ, Н.Е.САВВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН); 685017, г. Магадан, ул. Портовая, 16),

Г.Н.ГАМЯНИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН); 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35),

Е.Е.КОЛОВА, Ф.И.СЕМЫШЕВ, М.А.МАЛИНОВСКИЙ, Е.А.КОНДРАТЬЕВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН); 685017, г. Магадан, ул. Портовая, 16)

Получены новые данные по структуре рудного поля, геохимии и вещественному составу руд. Изучена минералогия жильных тел и рудно-метасоматических зон 74а и 75а с вкрапленным оруденением. Показано, что в отличие от жильных тел с существенно золотоарсениопиритовой минерализацией во вкрапленных рудах преобладает золотопиритовая ассоциация. Выявлены элементы-индикаторы этих зон – Nb, Fe, Zn. Установлены элементы вертикальной геохимической зональности для жил и рудно-метасоматических зон. Показано, что прямая зональность, в разной степени контрастная, характерна для жил, а волновая – для зон. Разработана схема стадийного минералообразования, оценены перспективы оруденения на глубину.

*Ключевые слова:* золотокварцевая формация, морфометрический анализ, геохимическая зональность, минеральные ассоциации, типоморфизм самородного золота, структура месторождения, термобарогеохимия.

Кондратьев Михаил Николаевич  
Савва Наталья Евгеньевна  
Гамянин Геннадий Николаевич  
Колова Елена Евгеньевна  
Семышев Федор Иванович  
Малиновский Максим Андреевич  
Кондратьева Екатерина Александровна



mkondratyev85@mail.ru  
savva@neisri.ru  
gamgen@mail.ru  
kolova@neisri.ru  
semyshev1@mail.ru  
innamorament05@mail.ru  
kondratyevakatya@gmail.com

## New data on the structure, mineralogy, and geochemistry of Karalveem gold deposit (Chukotka)

M.N.KONDRATIEV, N.E.SAVVA, G.N.GAMYANIN, E.E.KOLOVA, F.I.SEMYSHEV, M.A.MALINOVSKY, E.A.KONDRATIEVA

New data on the structure of the ore field, geochemistry and mineral composition of the ores were received. Mineralogy of the veins and 74a and 74b ore-metasomatic zones with disseminated mineralization was studied. It is shown that in contrast to the veins with significant gold-arsenopyrite mineralization, disseminated ores are dominated by gold-pyrite association. Indicator elements of these zones (Nb, Fe, Zn) are revealed. Patterns of geochemical zoning for vertical veins and ore-metasomatic zones were established. Direct zoning is shown to be typical for veins, and the wave zoning is shown to be typical for zones. The scheme of mineral formation was developed. The prospects of mineralization at depth were evaluated.

*Key words:* gold-quartz formation, morphometric analysis, geochemical zoning, mineral associations, typomorphism of native gold, deposit structure.

Известные мезотермальные месторождения золото-кварцевой формации на Западной Чукотке: Каральвеем, Озерное, Кекура [11, 12, 14, 16] сосредоточены в Анойском субтеррейне Чукотского террейна, который

рассматривается как фрагмент позднепалеозойской–раннемезозойской пассивной окраины [6]. Они приурочены к складчатой области, сложенной шельфовыми терригенными комплексами и, как правило, простран-

ственно и генетически связаны с гранитоидным магматизмом. Важное значение при изучении мезотермальных месторождений имеют геолого-структурные характеристики, которые контролируют зоны тектономагматической активизации, а также создают, специфические в каждом случае, условия локализации и концентрирования полезного компонента – традиционно в жилах и штокверковых зонах. В процессе разведки мезотермальных месторождений иногда открываются новые, неизвестные ранее, типы минерализации. Так произошло и на месторождении Каральвеем, о котором пойдет речь в настоящей статье, где относительно недавно геологической службой ООО «Рудник Каральвеем» был установлен новый тип рудных тел – рудно-метасоматические зоны.

Цель исследований – расшифровка в историческом аспекте структурного контроля оруденения, а также

геохимическая и минералогическая характеристика нетрадиционного для Каральвеема типа минерализации – рудно-метасоматических зон, которые показаны в сравнительном плане с жильным типом.

**Геолого-структурная позиция.** Золоторудное месторождение Каральвеем находится в Билибинском районе Чукотского автономного округа, в 18 км от районного центра – г. Билибино и связано с ним грунтовой дорогой. Географически оно расположено в бассейне р. Малый Анюй в центральной части Кепервеемской гряды Анюйского нагорья (рис. 1).

Каральвеемское месторождение находится в центральной части Кепервеемской золотоносной зоны в Анюйской складчатой зоне мезозой и относится к жильной золотокварцевой формации [11]. Площадь рудного поля месторождения составляет 45 км<sup>2</sup>. Оно приурочено к Кепервеемской горст-антиклинальной структуре, в

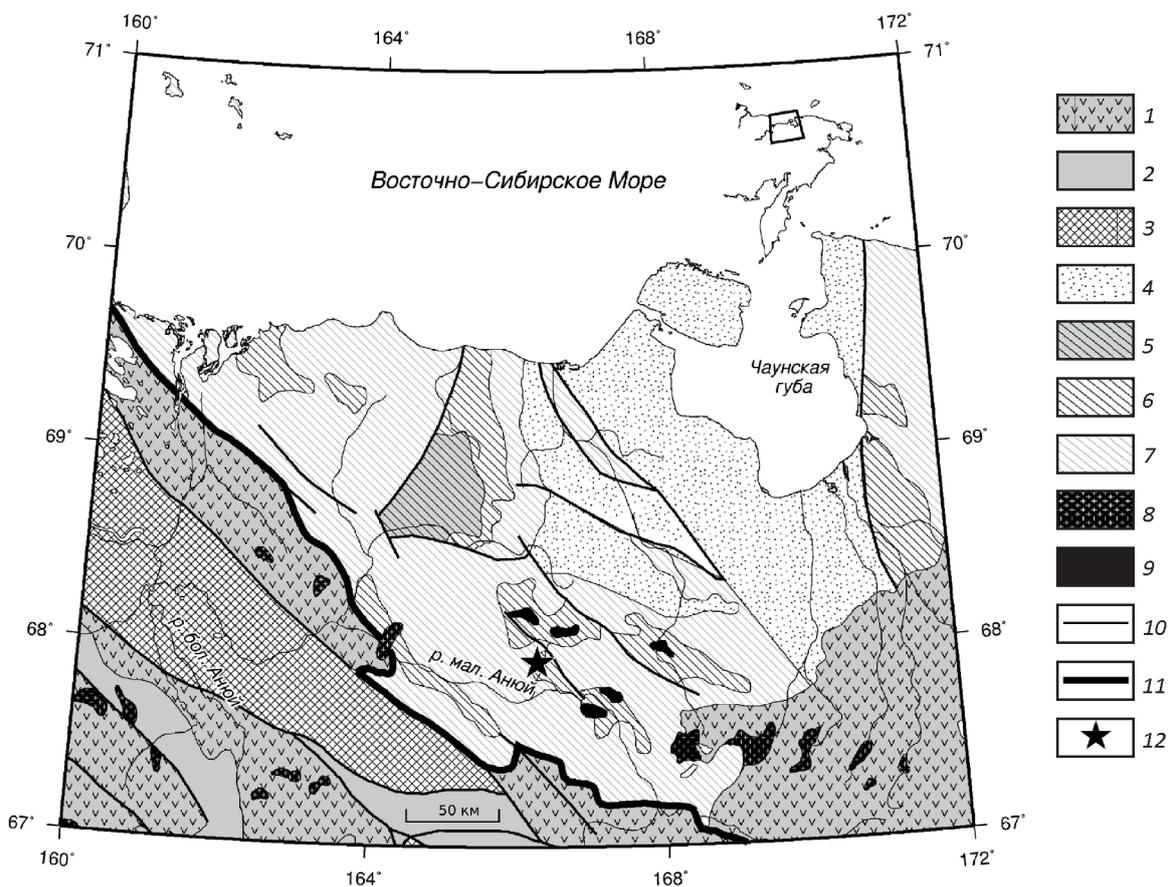


Рис. 1. Схема тектонического строения территории центральной Чукотки. По С.М.Тильману, 1992:

1 – положение Каральвеемского рудного узла, вулканические комплексы островных дуг позднеюрского и мелового возраста; 2 – комплексы краевых морей и междуговых прогибов триасово-среднеюрского возраста; 3 – Южно-Анюйский аккреционный блок; 4 – молассовые комплексы позднеюрского–раннемелового возраста; 5 – палеозойский комплекс Арктического континента; 6 – ранне-среднетриасовый комплекс Арктического континента; 7 – поздне-триасовый–раннеюрский комплекс Арктического континента; 8 – среднеюрские–раннемеловые гранитные комплексы; 9 – диабазы, габбро и ультрабазиты, маркирующие утонение континентальной коры; 10 – разломы; 11 – коллизийный шов; 12 – месторождение Каральвеем

ядре которой выведены на поверхность породы нижнего триаса, насыщенные триасовыми силлами диабазов и метаморфизованные в начальной ступени зеленосланцевой фации метаморфизма, увеличивающейся с глубиной. С юга, запада и севера рудное поле обрамлено выходами тел диоритов, гранитов, гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров раннемелового возраста. Мало-мощные дайки гранодиорит-порфиров установлены в штольне 19 и на поверхности участка «Промоина». К-Аг методом (СВКНИИ ДВО РАН) они датированы 130 млн. лет, что древнее гранитоидов Пырканаянского массива, расположенного к северо-востоку от месторождения и датированного U-Pb методом 112 млн. лет [12, 18]. Промышленный тип – золотокварцевый (малосульфидный) жильных зон и жил. Позиция Каральвеевского рудного поля в рудном узле определяется приуроченностью к крупному одноименному разлому с амплитудой взбросовых перемещений до 1200 м.

Рудное поле размером 15×3 км вытянуто в северо-западном направлении вдоль складчатых структур (рис. 2). Оно сложено триасовыми песчано-сланцевыми отложениями, вмещающими субпластовые тела габброидов и представляет собой антиклинальную складку с крутым падением на юго-запад, где широко развиты продольные по отношению к складчатости разрывы северо-западной ориентировки и поперечные разрывы северо-восточного и субширотного направления. Наиболее крупным из северо-западных разрывных нарушений является Каральвеевский разлом, ограничивающий рудное поле с северо-востока.

Золотокварцевое оруденение локализовано в триасовых габбро-диабазовых силлах, смятых в складки вместе с вмещающими песчано-сланцевыми отложениями триасового возраста. Предполагается, что ядро этой структуры формирует не вскрытый на поверхности зональный гранитно-метаморфический купол,

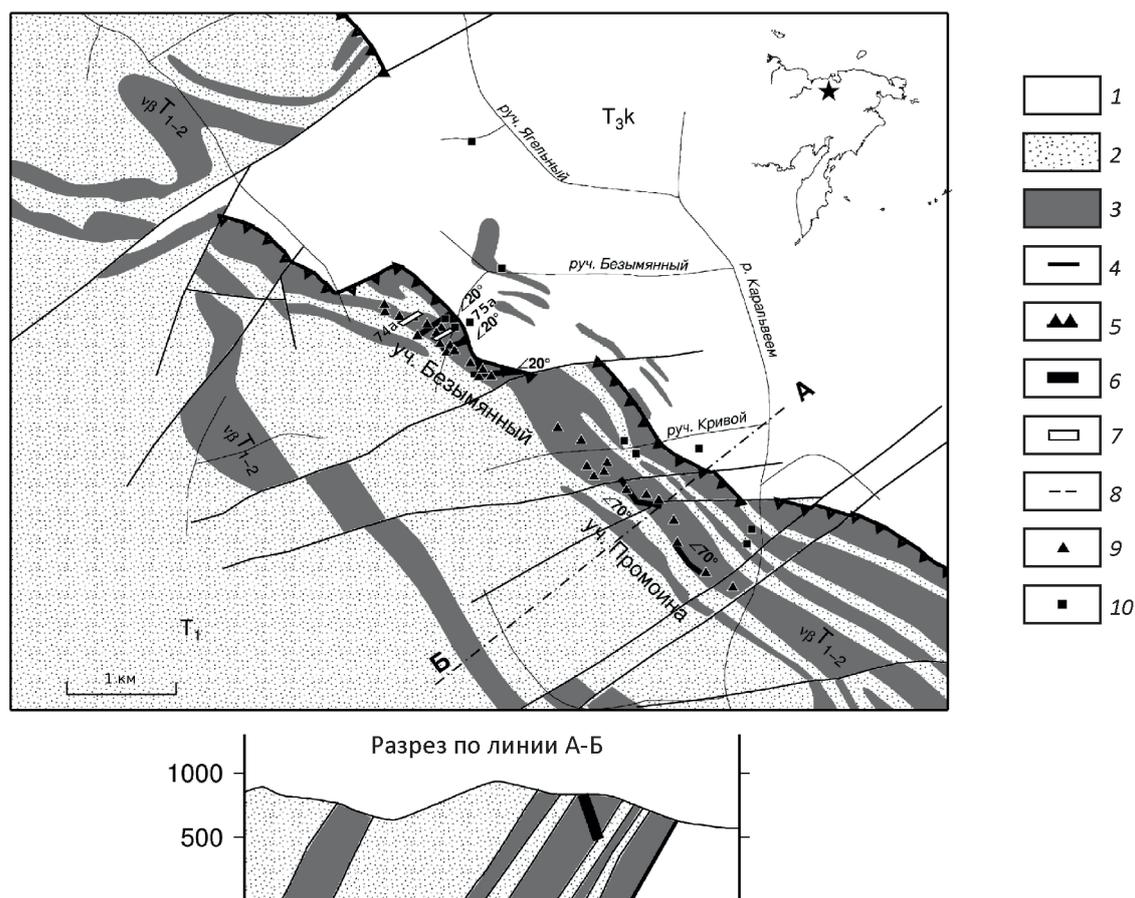


Рис. 2. Схема геологического строения месторождения Каральвеев:

отложения свиты: 1 – Каральвеевской, 2 – Ягельной; 3 – габбро и габбро-диабазы раннетриасового возраста; 4 – разломы; 5 – Каральвеевский разлом; 6 – контуры основных рудных тел; 7 – рудно-метасоматические зоны 74а и 75а; 8 – линия разреза; 9 – пункты геолого-структурных наблюдений в подземных горных выработках; 10 – пункты геолого-структурных наблюдений на поверхности

подобный Алярмаутскому, расположенному к северо-западу от района месторождения [8, 9]. В пользу данного предположения свидетельствуют и материалы глубинной геофизики профиля 2-ДВ, пройденного в районе рудного поля. Пространственно оруденение приурочено к висячим контактам отдельных тел габброидов, образуя вытянутые вдоль них по падению жильные зоны лестничной структуры. Породы метаморфизованы до зеленосланцевой фации. Околорудные изменения пород проявлены в их окварцевании и карбонатизации.

Выходы пород раннего триаса и согласно налегающих на них отложений среднего и позднего триаса рассечены и отчасти обрамлены серией разломов регионального значения, к которым относится и Каральвеевский разлом северо-западного простирания, прослеженный на десятки километров. Согласно структурным наблюдениям, полученным в ходе среднемасштабных съемок, он имел преимущественно взбросовую кинематику.

Рудное поле окружено выходами диоритов, гранитов и гранит-порфиров мелового возраста, обрамляющими его с юга, запада и севера. В пределах северного фланга месторождения также известны раннемеловые дайки гранодиорит-порфиров, прорывающие тела диабазов. Маломощные (0,1–1 м) дайки гранодиорит-порфиров установлены авторами при проведении тематических работ на поверхности (недалеко от штольни 20) и на горизонте штольни 19, вблизи предполагаемого выклинивания жилы 3а. Дайки затронуты гидротермальными изменениями и являются дорудными или синрудными.

Главную роль на месторождении играют золото-кварцевые жилы, локализованные в мощном силле диабазов. Самые крупные из них – это пологопадающие жилы 5, 6-6а, 7, 36, 45, секущие силл поперек в виде лестничной системы (участок Безымянный), и жилы 3-3а, 22, 23, секущие силл продольно или по диагонали с оперяющими их поперечными жилами 1, 2, 10, 20 (участок Промоина). Мощность жил изменяется в широких пределах, составляя в среднем 1 м при протяженности в сотни метров. Концентрации золота в жильных телах от 10 до 50 г/т, с бонанцами (свыше 1 кг/т).

В последнее время на руднике были выявлены рудные тела нового типа – крутопадающие поперечные к жилам минерализованные зоны 75а, 74а с концентрациями золота 0,5–20 г/т при мощности 10–15 м. Для них авторы данной публикации впервые выполнили минералого-геохимические исследования.

**Методика и объемы работ.** Для построения структурного плана был выполнен морфометрический анализ рельефа территории, характеризующий положение продуктивного горизонта, рудопроявлений и месторождений золота относительно современной поверхности. В связи с этим для листов геологической карты 1:200 000 R-58-33-34, R-58-35-36, северной части листов Q-58-3-4, Q-58-5-6 была создана ГИС, в которой

последовательно выполнены следующие действия: 1) построена вершинная поверхность – генерализированная поверхность, соединяющая точки вершин водоразделов на топографических картах масштаба 1:100 000 для указанной территории; 2) построена базисная поверхность – соединяющая точки тальвегов гидросетей; 3) методом алгебраического вычитания построена карта вертикальной расчлененности рельефа; 4) создана база данных о местоположении рудопроявлений и месторождений золота, включая данные об их абсолютных отметках, содержании полезного ископаемого, вмещающих и рудных породах. На этой основе построены карты, на которых представлен характер размещения месторождений и рудопроявлений золота на данной территории относительно базисной поверхности, вершинной поверхности и относительно поля глубин вертикальной расчлененности рельефа.

При изучении структуры месторождения проводилось измерение элементов залегания тектонической трещиноватости. В каждом пункте геолого-структурных наблюдений замерам трещиноватости подверглись 100 плоскостей трещин, расположенных на площадке 5×5 м. Всего на месторождении проведены замеры в 46 пунктах, включая замеры в подземных горных выработках (37 пунктов), и в естественных обнажениях горных пород на дневной поверхности (9 пунктов). Измерения элементов залегания проводились с помощью электронного компаса, изобретенного одним из авторов настоящей статьи [19].

При изучении минералогии руд и метасоматитов использовались традиционные макро- и микронаблюдения с применением универсального микроскопа Axioplan Imagin. Анализ минералов выполнен на приборах Camscan с приставкой Quantax и микрозонде SAMEBAX, аналитик Т.В.Субботникова (СВКНИИ ДВО РАН). Изучены текстурно-морфологические характеристики рудных тел и метасоматитов, минеральные ассоциации рудных жил и зон, особенности самородного золота, а также новый тип рудных тел – рудно-метасоматические зоны с вкрапленным оруденением.

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились одним из авторов с использованием измерительного комплекса на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam, микроскопа Motic, снабженного длиннофокусным объективом 50<sup>x</sup> фирмы Olimpus и видеокамеры Moticam solution 3 рх. Температуры гомогенизации ( $T_{гом.}$ ) двухфазных включений определялись по точке перехода газ–раствор. Поправка на давление не вводилась, поэтому приводимые ( $T_{гом.}$ ) соответствуют минимальной температуре минералообразования. Состав и концентрация растворов изучалась методом криометрии. Солевой состав растворов устанавливался по температурам плавления эвтектики ( $T_{эвт.}$ ) [2]. Концентрация растворов в мас. % экв. NaCl рассчитывалась для системы H<sub>2</sub>O–NaCl по

температуре плавления льда ( $T_{пл.л.}$ ) [26], а для системы  $H_2O-CO_2-NaCl$  по температуре плавления ( $T_{пл.гг.}$ ) гидратов [23]. Индивидуальные флюидные включения исследовались в кварце 4 рудных тел: жила 3а (горизонт 680); жила 3б (горизонт 520); жила 45 (горизонт 520); рудная зона 75 (горизонт 480). Всего было просмотрено 25 кварцевых пластинок. Выполнено 65 замеров температур гомогенизации и 32 замера температур эвтектик и плавления.

Для изучения геохимических особенностей месторождения с поверхности по трем профилям через участки Промоина, Безымянный и между ними, а также на разных горизонтах основных штольневых выработок были отобраны сколковые пробы весом 200–400 г. Шаг отбора проб на поверхности составил 100 м. На горизонтах – 50 м со сгущением около жил до 1–2 м, в рудных зонах до 2 м. Пробы были проанализированы количественным спектральным анализом ЭКСА на широкий круг элементов (550 проб) (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т.В.Козырева). Содержание золота в пробах определялось сертифицированным атомно-абсорбционным анализом (СВКНИИ ДВО РАН, аналитик В.П.Колесова, аттестат аккредитации РОСС RU. 517849).

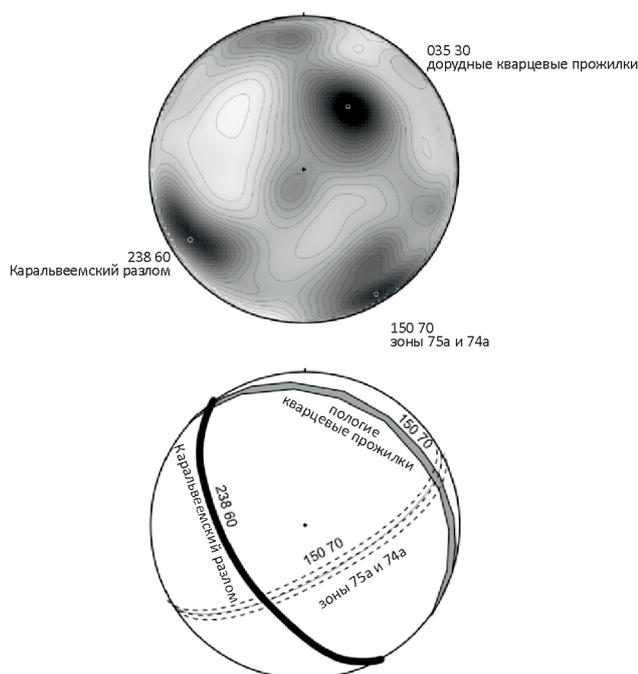
**Морфоструктурная характеристика месторождения.** Морфометрический анализ был проведен с целью выявления поисковых критериев и оценки перспектив территории на выявление рудных тел. На начальной стадии изучения были построены карты вершинной поверхности (интерполированной из абсолютных высот водоразделов) и глубин вертикальной расчлененности рельефа (разницы между вершинной поверхностью и поверхностью, интерполированной из высотных отметок тальвегов гидросети). Оценено положение горизонта максимальной рудонасыщенности относительно современного рельефа. Это позволило получить представление о том, на каких горизонтах золотое оруденение может оставаться еще не вскрытым или вскрытым незначительно [1].

Выяснилось, что на данной территории неотектонические блоки, содержащие золотокварцевое оруденение, занимают два гипсометрических уровня – первый с уровнем вершинной поверхности от 700 до 900 м и второй – от 1000 до 1200 м (к блокам второго типа приурочены рудные тела месторождения Каральвеем). При этом кровля горизонта максимальной рудонасыщенности для месторождения Каральвеем преимущественно расположена на глубине около 300–350 м (редко до 600 м) от вершинной поверхности. Значительное количество рудных тел месторождения тяготеет к участкам наибольших глубин вертикальной расчлененности рельефа (82% выходов руд лежит в интервале от 400 до 700 м). Такая расчлененность делает возможным вскрытие рудного горизонта в пределах блоков второго типа. Для блоков первого типа не удается выявить единый горизонт максимальной рудонасыщенности. Рудопроявления находятся на разной глубине от вершинной

поверхности (в целом не более 350 м), независимо от глубины вертикальной расчлененности рельефа. Однако 48% соответствует уровню глубин вертикальной расчлененности от 400 до 500 м. Таким образом, в блоках первого типа рудный горизонт может быть еще не вскрытым. Чтобы исключить из анализа влияние неравномерного развития площадей со 100-метровыми интервалами высот, для каждой из построенных поверхностей при выявлении статистических пиков вычислена вертикальная плотность выходов руд (отношение количества выходов рудных тел на определенном интервале глубин к площади развития таких глубин на территории) [1]. Статистическая значимость выделения двух типов неотектонических блоков дополнительно проверена мультимодальным тестом.

В результате анализа установлено, что наиболее перспективными для поиска рудных объектов для территории листов геологической карты 1:200 000 R-58-33-34, R-58-35-36, северной части листов Q-58-3-4, Q-58-5-6 будут участки, соответствующие наибольшим значениям (400–700 м) глубин вертикальной расчлененности рельефа.

**Структурная характеристика месторождения.** По ориентировке рудоносных жил, территория месторождения разделяется на два участка: Промоина – с крутопадающими на северо-восток жилами и Безымянный – с пологопадающими на восток-юго-восток жилами. Для выявления причин различной ориентировки рудных систем на указанных участках была предпринята попытка детального анализа трещинной сети месторождения – важного фактора проницаемости компетентных базитовых интрузий для миграции рудного вещества и его отложения. Были проведены специальные исследования, направленные на детальное изучение структуры месторождения и выявление областей локализации рудных тел. Замерам подвергались жильные системы, приконтактные части рудных тел, а также безрудные интервалы между рудными телами и участками Промоина и Безымянный. Всего на месторождении были проведены замеры в 46 пунктах, включая замеры в подземных горных выработках (37 пунктов), и в естественных обнажениях горных пород на дневной поверхности (9 пунктов), в среднем по 100 плоскостей в каждом пункте наблюдений. Для каждого из пунктов с помощью программы `pyfrct` (<https://github.com/fatune/pyfrct>) были рассчитаны матрицы плотности распределения трещин для выявления направлений преимущественного развития трещин. Чтобы выяснить, какие ориентировки трещиноватости на месторождении являются наиболее распространенными, максимумы плотности трещиноватости каждого пункта были объединены в единую синептическую стереограмму трещиноватости, показывающую, таким образом, усредненные направления главных трещин всего месторождения (участки Промоина и Безымянный) (рис. 3, табл. 1).



**Рис. 3.** Синаптическая стереограмма трещиноватости нормали (верхняя полусфера) и соответствие систем трех наиболее интенсивно проявленных плоскостей основным структурным элементам месторождения (нижняя полусфера):

пунктиром показано положение рудно-метасоматических зон 74а и 75 а

На фоне максимумов различной ориентации, проявившихся относительно слабо, была выделена хорошо выраженная система трех взаимортогональных плоскостей: плоскость, совпадающая с ориентацией плоскости Каральвеевского разлома (аз. пад. 238°, угол

падения 60°); плоскость, совпадающая по простиранию с субвертикальными рудными зонами (аз. пад. 150°, угол падения 70°); и плоскость, по которой развиты пологие дорудные кварцевые прожилки (аз. пад. 35°, угол падения 30°). Эти плоскости являются системами, соответственно, Y, R' и n' сколов, развитых при взбросовых движениях по плоскости Каральвеевского разлома, согласно классификации систем разрывов 2-го порядка на главных стадиях формирования надвиговой разломной зоны [23].

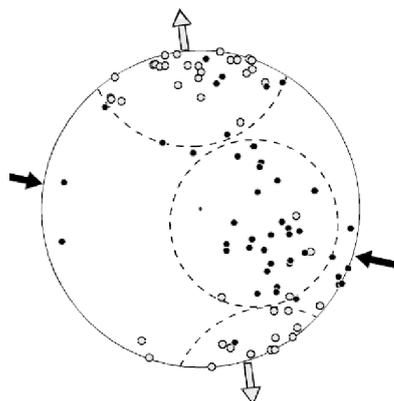
Сколы R' типа объединяются в систему субвертикальных сдвигов, поперечных плоскости Каральвеевского разлома, местами смещающих плоскость разлома на сотни метров. Кроме того, в каждом из пунктов наблюдений проявляется пояс трещиноватости с ориентацией оси вращения, совпадающей с ориентацией Каральвеевского разлома (предположительно пояс вращения; на сводной стереограмме он проявлен слабо). Примечательно, что рудоносные жилы на участках Промоина и Безымянный лежат в этом же поясе.

На матрицах плотности трещиноватости (удельная длина) по противоположным смещениям максимумов плотности выделены пары сопряженных трещин, по ориентировке которых восстановлены направления сил сжатия и растяжения, действовавших в момент образования этих трещин [7, 17].

На рис. 4 представлена сводная стереограмма, на которую вынесены ориентации осей сжатия и растяжения, восстановленные в ходе анализа всех пунктов наблюдений на территории месторождения Каральвеем. Основываясь на группировке решений осей так, чтобы они описывались конусами сжатия и растяжения [20], установлено следующее направление осей главных нормальных напряжений общего поля: ориентация оси растяжения – азимут 0°, угол погружения 9°, оси сжатия – азимут 110°, угол погружения 65°. Это соответствует сдвиговым левосторонним движениям по плоскости Каральвеевского разлома.

### 1. Ориентировка главных трещинных систем месторождения Каральвеем

Система трещин (азимут падения, угол падения)	Разновидность	Динамический тип подвижки
035°, 30°	Дорудные кварцевые прожилки, сколовые трещины	Чистое растяжение, скольжение
045°, 70°	Борозды скольжения, кулисы кварцевых прожилков	Скольжение, косое растяжение
108°, 60°	Борозды скольжения	Скольжение
150°, 70°	Зона 75а, борозды скольжения	Скольжение, косое растяжение
210°, 08°	Нерудные кварцевые жилы, борозды скольжения	Скольжение, косое растяжение
238°, 60°	Разлом Каральвеем	Скольжение
355°, 60°	Пост кварцевые трещины	Скольжение
310°, 30°	Кулисы кварцевых жил	Косое растяжение
090°, 28°	Кулисы кварцевых жил	Косое растяжение
055°, 50°	Кулисы кварцевых жил, рудные тела	Косое растяжение, чистое растяжение
100°–130°, 015°–25°	Рудные жилы на участке Безымянный	Косое растяжение
030°–040°, 70°–80°	Рудные жилы на участке Промоина	Косое растяжение



**Рис. 4.** Сводная стереограмма направлений осей сжатия и растяжения, восстановленных в ходе анализа тектонической трещиноватости на территории месторождения Каральвеем:

черными кружками показаны выходы на нижнюю полусферу осей сжатия, белыми – осей растяжения; пунктир – конусы общего поля напряжений; направление осей главных нормальных напряжений общего поля: растяжение  $000^{\circ} 09^{\circ}$ , сжатие  $110^{\circ} 65^{\circ}$

Направления осей, восстановленные в отдельных пунктах наблюдений, варьируют. Основная масса осей растяжения ориентирована в направлении  $350^{\circ}$  с углом погружения  $20^{\circ}$ . Оси сжатия в основном ориентированы в направлении  $120^{\circ}$  с углом погружения  $55^{\circ}$ . Пункты, в которых восстановлены такие условия деформации, расположены в пределах развития рудных жил и зон на участках Промоина и Безымянный. На флангах месторождения и в пространстве между участками Промоина и Безымянный ориентировка осей меняется.

Кроме того, были определены ориентировки борозд скольжения, найденных на контактах рудных жил с вмещающими породами и на пришлифованных зеркалах скольжения в окрестностях рудных жил (42 направления). Такие борозды характеризуют подвижки по плоскостям трещиноватости, проходившие после формирования рудных жил, и отражают более поздний динамический этап. Проанализировав методом из работы [10] набор собранных направлений борозд скольжений и ориентировок плоскостей, по которым происходили скольжения, авторы установили динамические условия, в которых они протекали: ось растяжения направлена по азимуту  $140^{\circ}$  с наклоном под углом  $40^{\circ}$ , ось сжатия направлена по азимуту  $27^{\circ}$  с углом погружения  $25^{\circ}$ .

Исходя из приведенных данных, можно предположить следующую эволюцию структуры месторождения [13]:

*Дорудный этап.* Образование складчатости на обширной территории Анюйско-Чукотской системы. В результате этого весь комплекс стратифицированных

отложений на территории месторождения приобрел падение на юго-запад под углами  $50-80^{\circ}$ . К этому же времени относится и образование Каральвеемского разлома, одновременно с развитием которого происходит заложение трещинных систем преимущественно в телах габброидов (табл. 2, I-b) и формирование сети дорудных кварцевых прожилков (см. табл. 2, I-d).

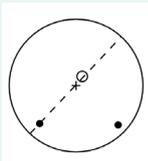
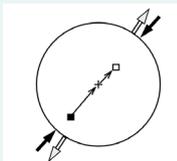
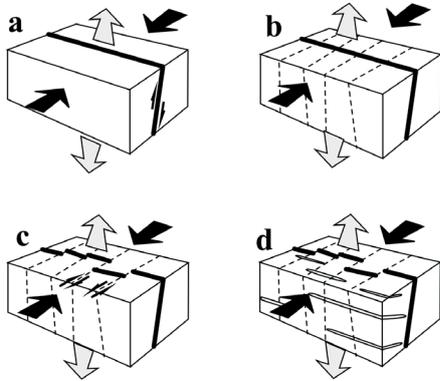
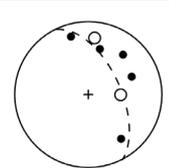
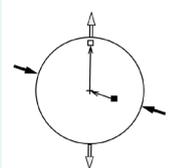
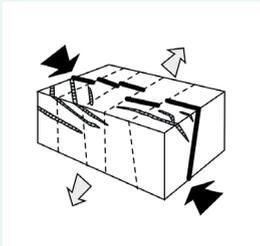
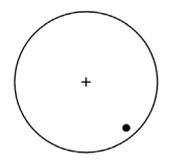
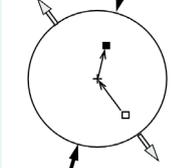
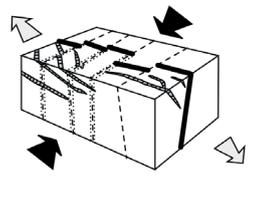
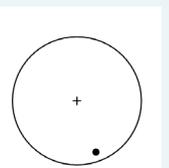
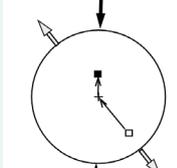
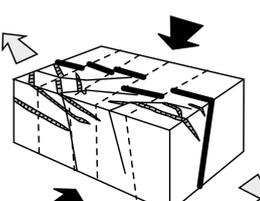
Субвертикальные сколовые трещины, простирающиеся перпендикулярно Каральвеемскому разлому, объединяются в серию субпараллельных разломов, по которым происходят разнонаправленные сдвиговые движения, смещающие плоскость Каральвеемского разлома (см. табл. 2, I-c).

*Рудный этап.* Происходит смена динамической обстановки, которая устанавливается на основе анализа трещиноватости габброидов, вмещающих рудные тела. На рудном этапе изменяется ориентировка сжимающих напряжений, в результате чего поле напряжений приобретает сдвиговую компоненту. Возникшие напряжения не могут быть сняты за счет движений по плоскости Каральвеемского разлома, так как он оказался «запертым», будучи рассеченным плоскостями субвертикальных сдвигов. Разгрузка этих напряжений происходит за счет образования оперяющих трещин в поясе вращения с осью, имеющей азимут падения  $240^{\circ}$  и угол падения  $65^{\circ}$ , которые отчетливо проявляются в каждом пункте наблюдений, и в которых, кроме пустых трещин, лежат и все рудные тела месторождения. Рудоносный флюид мигрирует по сети образовавшихся трещин, образуя жильные тела двух главных ориентаций, лежащих в том же поясе: северо-восточного простирания на участке Промоина и северного простирания на участке Безымянный.

Борозды скольжения на контактах рудных жил и смещающих пород маркируют изменение общего поля напряжений (происходит поворот оси сжатия примерно на  $90^{\circ}$ ), которое произошло после формирования основной части рудных тел. В результате такой эволюции поля напряжений происходит формирование рудных тел в субвертикальных рудных зонах (зоны 74 и 75) северо-восточного простирания. Возможно, в ходе длительной эволюции поля напряжений происходило неоднократное проявление смены динамических режимов, и, как следствие, формирование рудных столбов в уже оформившихся рудных телах в результате дополнительного привноса рудного материала.

*Пострудный этап.* Незначительные изменения внешнего поля напряжений привели к тому, что на этом этапе стали развиваться трещины субширотного простирания, преимущественно в габброидных телах. К этому этапу относится развитие пострудных разломов в основном субширотного простирания. Причина, по которой указанные разломы развивались именно на пострудном этапе, в настоящий момент не установлена. В это же время также происходили пострудные подвижки по уже сформированным разломам (см. табл. 2, III).

2. Поэтапная схема структурной эволюции месторождения Каральвеем

Этап и характер развития	Нормали плоскостей, нижняя полусфера	Ориентировка осей напряжений, верхняя полусфера	Объемная блок-диаграмма
<p><b>I. Дорудный</b>                      Одновременно с формированием и развитием Каральвеемского разлома происходит заложение трещинных систем преимущественно в телах габброидов</p>			
<p><b>II-1. Рудный</b>                      Формирование пояса трещиноватости с осью, отстоящей от плоскости Каральвеемского разлома под углом, близким к 90°; миграция рудного флюида по плоскостям образованных трещин; возникновение рудных жил</p>			
<p><b>II-2. Рудный</b>                      Смена динамического режима; активация плоскости рудных зон 75, 74 и пр.; возможно, к этому этапу относится формирование рудных столбов в продолжающих развитие рудных жилах</p>			
<p><b>III. Пострудный</b>                      Развитие трещин преимущественно в телах габброидов, объединение их в субширотные разломы и подвижки по ним</p>			

**Геохимические особенности рудообразования.**

*Распределение рудогенных элементов по поверхности месторождения.* По результатам спектрального анализа установлено, что базитовые тела отчетливо выделяются по аномалиям Fe, Ti, Mn, Co, Ni, Cr, Cu и рассматриваются как типоморфные базитовые, а аномалии Са в данном случае отвечают зоне карбонатного метасоматического изменения базитов в связи с рудообразованием. С распределением этого элемента в той или иной степени согласуются Zn, Ag и, что необычно, Sn. Золото при пониженной чувствительности анализа на

этот элемент не всегда показательно, хотя обращает на себя внимание аномальность его содержаний в пробах 50021–50022 и 50033, где с ним отмечены и аномалии Вi. Это может служить косвенным указанием на связь золотого оруденения с гранитоидным магматизмом. Своеобразна позиция Pb, концентрирующегося по обрамлению месторождения – на его северо-восточном, юго-восточном и юго-западном флангах.

Таким образом, рудные участки месторождения Каральвеем фиксируются положительными аномалиями Ag, Zn, Sn, Са и, вероятно, частично Cu и Co. Аномалии

золота и висмута по периферии требуют установления их природы, не исключено, что здесь проявлено оруденение золотовисмутового типа.

*Распределение рудогенных элементов в вертикальной плоскости месторождения.* Опробование пологопадающих жил участка Безымянный, выполненное на горизонтах штолен, не дало ярко выраженных результатов в распределении рудных элементов из-за небольших размеров сопровождающих их геохимических аномалий, что связано с их относительно пологим залеганием и небольшой протяженностью. При этом наглядная картина распределения элементов по вертикали на всех изученных горизонтах была получена при опробовании двух крупных крутопадающих рудных зон (74а и 75а) с вкрапленным оруденением, прослеживающихся более чем на 350 м на глубину. В этих зонах фиксируются повышенные концентрации Nb, Fe, Zn. Участок Безымянный, и прежде всего район рудных зон 74а и 75а, четко выделяются на глубину сплошной аномалией Zn и локальными аномалиями Au и Ag. Отмечается также по вертикали периодическая смена min и max концентраций Nb и Cu, что может служить указанием на существование волновой зональности рудных зон, присущей обычно месторождениям структурно-морфологического типа минерализованных зон дробления [4]; в частности, такая зональность характерна для рудных зон крупного Нежданнинского месторождения Аллах-Юньского золоторудного пояса Якутии [3]. Это предположительно нашло отражение в распределении концентраций Au в рудных зонах 74а и 75а.

Данные, полученные по штольне 8 (горизонт 770 м), указывают на вероятное существование здесь еще одной рудной зоны, в 200 м к северо-западу от зоны 75а (ближе к устью штольни). Здесь на интервале почти в 200 м выделилась контрастная аномалия As, Nb, Pb, отмечены пробы с содержанием Au 3,5 г/т и неконтрастные аномалии Sn, Ag и Zn.

*Околорудные первичные ореолы.* Для выявления **околожилных** первичных ореолов и оценки их вертикальной зональности проведено геохимическое опробование жил 45, 36, 3, 2 и вмещающих пород вкрест их простирания. Установлено, что жилы сопровождаются малококонтрастными ореолами для Au на расстоянии 1–2 метра от контактов, а для Ag – на расстоянии до 5–7 м. Причем содержание Ag по вертикали в ореоле жилы 3а на интервале 100 м резко снижается (в 8–10 раз), при этом максимальные содержания Mo, Sb, W, As приурочены к жилам. В вертикальном разрезе наблюдается падение концентраций этих элементов с глубиной для участка Промоина в среднем в 2–3 раза (для W в 4–6 раз), в отличие от участка Безымянный, где содержание Sb в жилах с глубиной возрастает в 10 и более раз. Рудные жилы и околожилные породы участка Безымянный характеризуются малококонтрастными аномалиями Pb, Ag, Sb, особенно по жиле 45. Иногда отмечается повышение фона Sn или Au, тогда как для жилы 36 на

горизонте 480 м повышаются Ag и Pb преимущественно в ее висячем боку. Следует отметить отрицательные аномалии Cu в обоих случаях.

Околорудные первичные ореолы изучены также для **рудноносных зон**. Опробованы зоны: 75а вкрест простирания на четырех горизонтах, для зоны 74а – на двух. Установлено, что в этих зонах максимальные концентрации Ag, Au, Sb, Sn, W, Nb тяготеют к центральным частям и значительно выше, чем во вмещающих породах (в среднем в 2–6 раз). Для Ni, Co, Cu характерно резкое падение содержаний к центру зоны на горизонте 770 м (в 3–7 раз), на других горизонтах эта разница не превышает двукратной. Количество Pb и Zn в зонах, как правило, больше, чем во вмещающих породах, но меньше, чем в жильных телах. В некоторых пробах из зон установлены повышенные содержания Pd – 0,22; 0,11; 0,14 и 0,15 г/т, что может быть связано с рудовмещающими базитами и привносит определенную специфику в характер рудного выполнения зон.

Таким образом, геохимическими элементами-индикаторами рудных жил можно считать Sb, As, Pb, W, а для зон – Nb, Fe, Zn и в какой-то мере Pd. Размер аномалий для этих элементов не превышает в среднем 5–8 м в поперечнике. Причем в штуфах, отобранных из максимально обогащенных рудными минералами участков жильных тел, к ним добавляются Bi, Mo. По качественным параметрам распределения намечается заметная контрастность в содержаниях ряда индикаторных элементов в зависимости от вертикальной протяженности рудных тел. Так, для жилы 3а участка Промоина установлено контрастное уменьшение почти всех индикаторных элементов в околожилном пространстве, за исключением Pb, на вертикальном интервале в 100 метров. Для жил 36 и 45 участка Безымянный на таком же интервале эти изменения заметно менее контрастны, то есть вертикальная зональность ореолов менее отчетливая. В целом это соотносится с протяженностью рудных тел и может служить дополнительным указанием на затухание оруденения.

**Сравнительная характеристика минералогии рудных жил и зон.** На месторождении Каральвеем (участках Безымянный и Промоина) до недавнего времени были известны только жильные рудные тела, но к настоящему времени на участке Безымянный выявлены и впервые изучены авторами две рудно-метасоматические зоны вкрапленного оруденения (74а и 75а). Это крутопадающие рудные тела (аз. пад. 150°, угол 50°–55°), пересекающие пологозалегающие жилы, мощностью 7–9 м с содержаниями золота 0,5–20 г/т.

Метасоматиты, вмещающие вкрапленное золотое оруденение, представляют собой перемятые и неравномерно окварцованные, хлоритизированные и серицитизированные габбро-диабазы с короткими (5–7 см) просечками пирита мощностью до 3 мм и его гнездами и вкрапленниками (рис. 5, г–е). Основная масса породы преимущественно хлоритизирована и серицити-

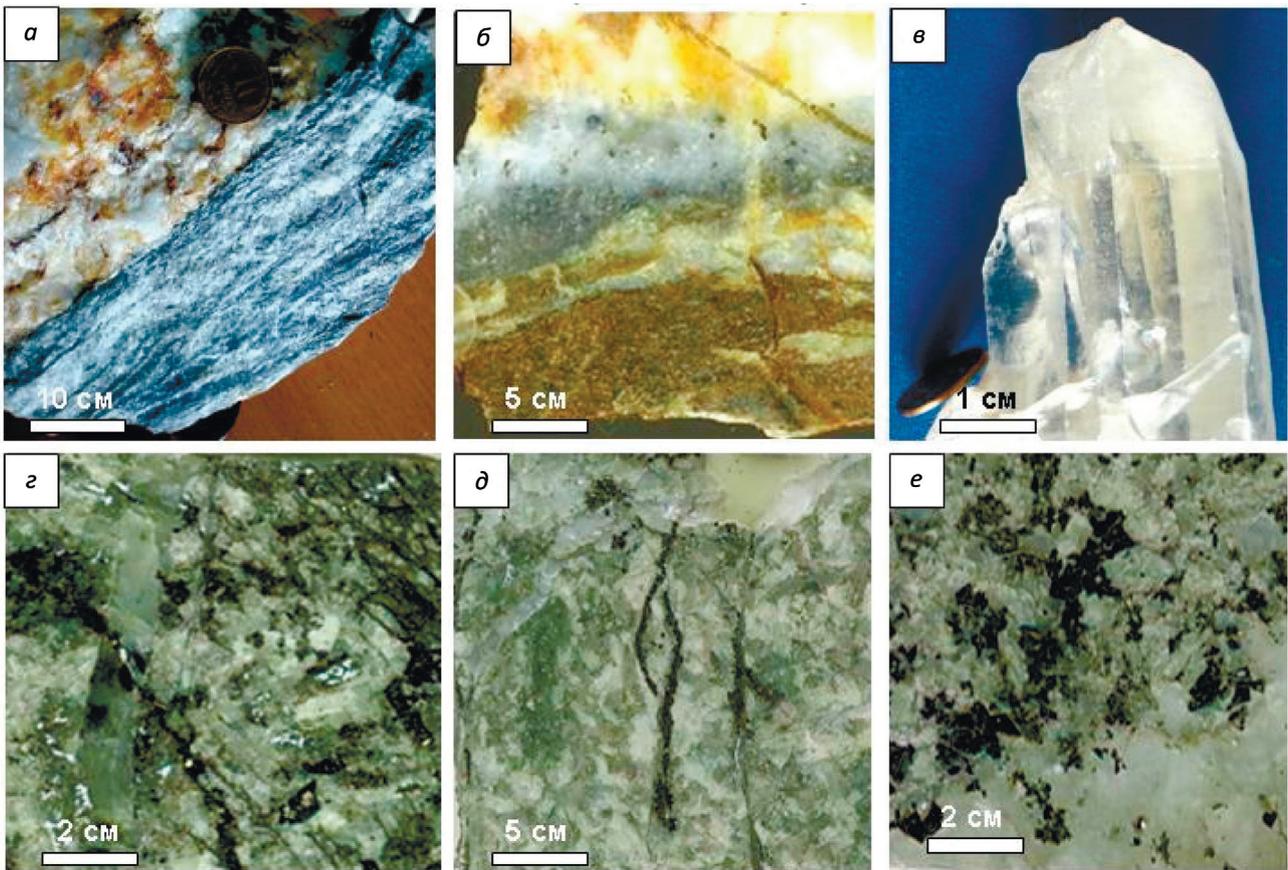


Рис. 5. Текстуры руд месторождения Каральвеем:

*а-в* – в жилах: *а* – вкрапленная и плосчатая: сверху – вкрапленность арсенипирита в кварце, внизу – тонкое чередование полос кварца и арсенипирита, *б* – гнездово-вкрапленная вкрапленники сульфидов (черное) и гнезда шеелита (серое) в кварце (белое), *в* – друзовая (сросток кристаллов кварца); *з-е* – в зонах: *з* – текстура смятия и тонких пиритовых просечек, *д* – просечки пирита в метасоматите, *е* – густая вкрапленность золотоносного пирита

зирована, соотношение хлорита к серициту 5:1. Реже встречается актинолит, образующий скопления до 7 мм в поперечнике. Характерная особенность метасоматитов зоны 75а – интенсивная флюидонасыщенность вторичного кварца и высокое содержание в нем апатита до 1–2 % (рис. 6). В апатите встречены зерна Nb содержащих минералов, с эффектом плеохроичных двориков (см. рис. 5, *з-е*). Сульфидность метасоматитов 5–7 %, и она постепенно снижается в направлении с юго-востока на северо-запад. Соотношение пирита к арсенипириту изменяется в том же направлении от 1:10 до 1:3. Метасоматиты пересечены сетью непротяженных кварцевых прожилков мощностью 1–3 см и сульфидных просечек (см. рис. 5, *з-е*). На рис. 7 показано строение зоны 75а на горизонте 430 м штольни 6 с точками отбора проб. Содержания золота на этом отрезке составляют от 1,0 до 20,5 г/т.

Минералогическая характеристика этих зон будет рассмотрена в сравнительном плане с жильными телами. Наиболее распространенные текстуры жил – полосчатые, в сочетании с вкрапленными (см. рис. 5, *а-е*). Они обусловлены чередованием полос кварца и сульфидов, причем более грубополосчатые отмечаются на участке Безымянный. На нижних горизонтах участка Промоина развиты самые тонко-полосчатые текстуры, которые выше сменяются брекчиевыми (кварц с обломками базитов), а также массивным кварцем с друзами горного хрусталя (см. рис. 5, *б*). В отличие от них в зонах вкрапленных руд текстурный рисунок характеризуется процессами смятия с широким развитием пиритовых просечек протяженностью первые десятки сантиметров с раздувами и пережимами, многочисленными вкрапленниками существенно пиритового состава и более редкими – мелкого золота (см. рис. 5, *з-е*).

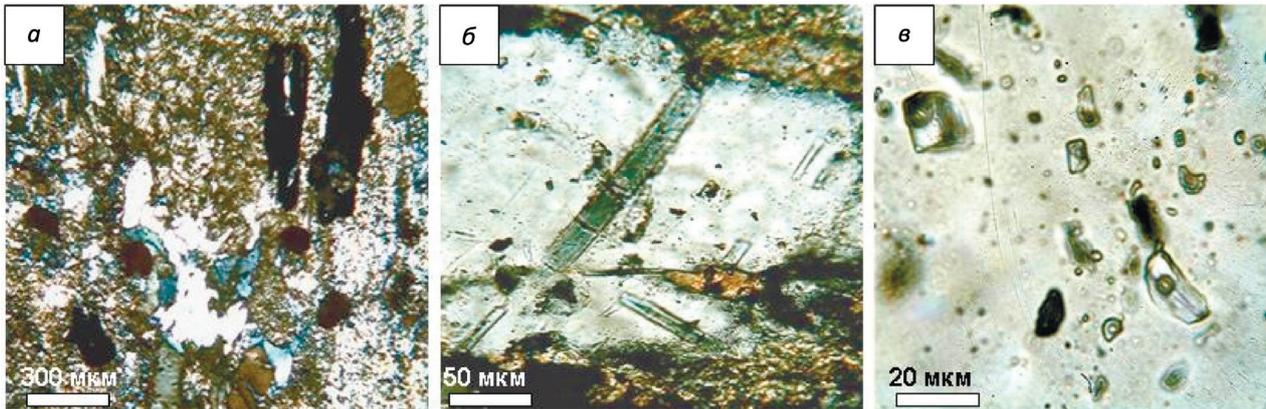


Рис. 6. Метасоматиты зоны 75а (прозрачные шлифы):

а – кварц-хлорит-гидрохлоритовый метасоматит с мелкими просечками пирита (черное); б – многочисленные включения апатита (удлиненные кристаллы) в кварце; в – флюидонасыщенность кварца (трехфазные флюидные включения)

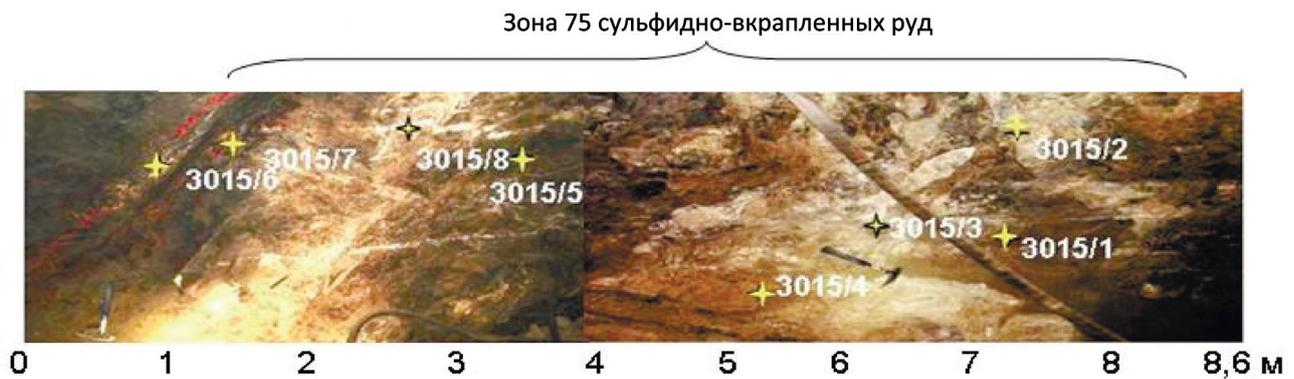


Рис. 7. Схема отбора образцов и проб из зоны 75 на горизонте 480, северо-западная стенка

**Минеральный состав руд**, приводимый предыдущими исследователями [11] пополнен новыми данными (табл. 3).

Последовательно образующиеся минеральные ассоциации жильных тел участков Безымянный и Промоина практически не отличаются друг от друга и имеют следующий вид:

- кварц-1+карбонат+эпидот+аксинит+пирротин →
- кварц-2+карбонат+шеелит →
- арсенопирит-1+пирит →
- сфалерит+халькопирит+галенит+арсенопирит-2 →
- **самородное золото** → кварц-3+карбонат+пирит,

для участка Промоина добавляется поздняя ассоциация – горный хрусталь (кварц 4)+кальцит+самородное золото.

Отмечаются существенные отличия в минеральном составе жил. Жила 45 отчетливо выделяется обогащен-

ностью минералами W, Be. Здесь установлены самые крупные выделения шеелита, значительные количества галенита, высокая частота встречаемости видимого золота. В галените впервые установлены включения *самородного висмута* (рис. 8). Здесь самое низкое количество пирита – Asp:Py=10:1. Жила 36 отличается от жилы 45 понижением количества минералов продуктивного парагенезиса – галенита, сфалерита и шеелита. Повышается количество пирита – Asp: Py=10:3, а в жиле 3а на участке Промоина в галените встречена Ag-Pb-Bi сульфосоле, которая по оптическим данным определена как *эскимоит*? (см. рис. 8).

**Типоморфные особенности главных минералов руд.** Кварц в жильных рудных телах образует пять генераций, которые отлагались разновременно и ассоциируют с различными минералами: *кварц-1* – полупрозрачный (ассоциация с аксинитом) и без аксинита с

3. Минеральный состав руд и метасоматитов месторождения Каральвеем по степени распространенности

Группы минералов	Главные	Второстепенные	Редкие
Жильно-метасоматические	Кварц, анкерит	Кальцит, мусковит, эпидот*, аксинит*, хлорит, диксит, каолинит, сидерит, апатит*, рутил*	Берилл, флюорит, ильменорутил*, колумбит?*, малакон*
Рудные	Арсенопирит, пирит, пирротин*	Шеелит, галенит, халькопирит, сфалерит	Блѣклая руда, самородный висмут*, эскимоит?*
Гипергенные	Гидроксиды Fe, гетит, скородит	Гидроксиды Mn, гипс, англезит*	Церуссит, ковеллин, каламин*

Примечание. \* – минералы, добавленные в список авторами настоящей статьи.

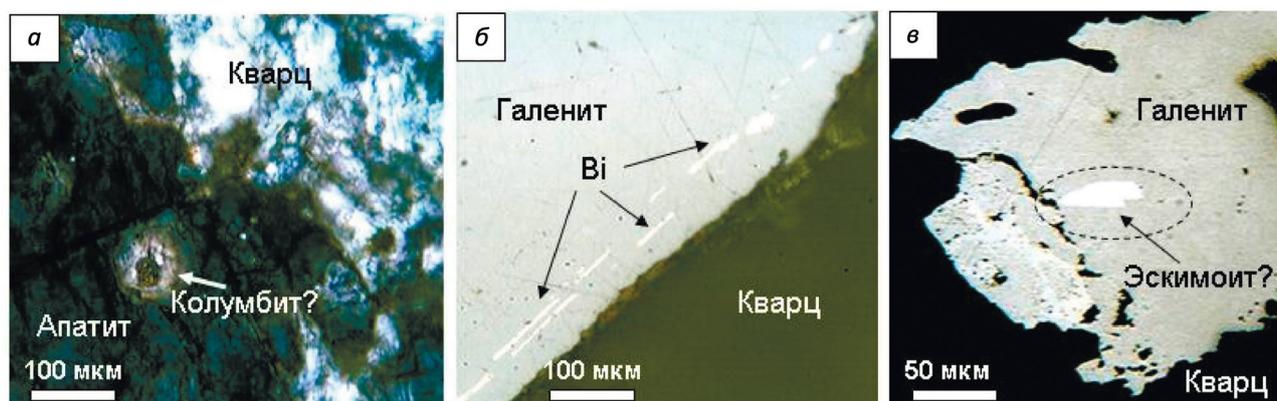


Рис. 8. Выделения рудных минералов:

а – Nb-содержащий минерал (колумбит?) с типичным плеохроичным двориком, в апатите (прозрачный шлиф, с анализатором), зона 75; б – выделение самородного висмута в галените (жила 3б); в – выделение свинцово-сурьмяной сульфосоли (ширмерита?) в галените жила 3а

волнистым угасанием; *кварц-2* – молочно-белый с вкрапленностью арсенопирита; *кварц-3* – голубовато-серый в ассоциации с арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, золотом; *кварц-4* – криптозернистый в ассоциации со сфалеритом, халькопиритом, арсенопиритом, золотом; *кварц-5* – друзовидный горный хрусталь, иногда с золотом.

В рудных зонах 74а и 75а установлены *кварц-1* – мелкозернистый, неравномерно распределенный в метасоматите, и *кварц-2* – молочно-белый и полупрозрачный, образующий линзы и просечки мощностью 2–4 см, протяженностью до 40 см с вкрапленностью пирита и арсенопирита.

*Арсенопирит* относится к ранним рудным образованиям, отличается большим разнообразием форм и размеров от гигантозернистых (до 5 см) индивидов до тонкозернистых агрегатов. Его отложение и переотложение в ходе рудообразования происходило неоднократно. Об этом свидетельствуют как не катаклазированные кристаллы (0,5–4,0 см), так и тонко раздробленные агрегаты, а также появление поздних мелких удлиненно-

призматических кристаллов в галените. В жильных телах арсенопирит наиболее широко распространен по сравнению с другими рудными минералами. Арсенопирит в жилах постоянно ассоциирует с пиритом, галенитом и содержит включения самородного золота, пирротина, халькопирита, галенита, по отношению к которым он более ранний.

*Арсенопирит* в рудно-метасоматических зонах развѣт значительно реже, чем пирит ( $Asp: Py=1:10-1:6$ ). По составу он отличается от арсенопирита жильных тел более низкой мышьяковистостью, а это, согласно статистическим исследованиям Е.Э.Тюковой [22, с. 86], сближает его с классической золото-кварцевой формацией, связанной с гранитоидами, тогда как для жильных тел он частично попадает в область золото-висмутовой (рис. 9).

*Самородное золото* в жилах имеет пробность 880–905%. По морфологии выделяются пять основных типов: I – свободное в кварце – 50–60%; II – крупное в сростаниях с арсенопиритом и галенитом – 20–30%; III – мелкие включения в арсенопирите 20–30%;

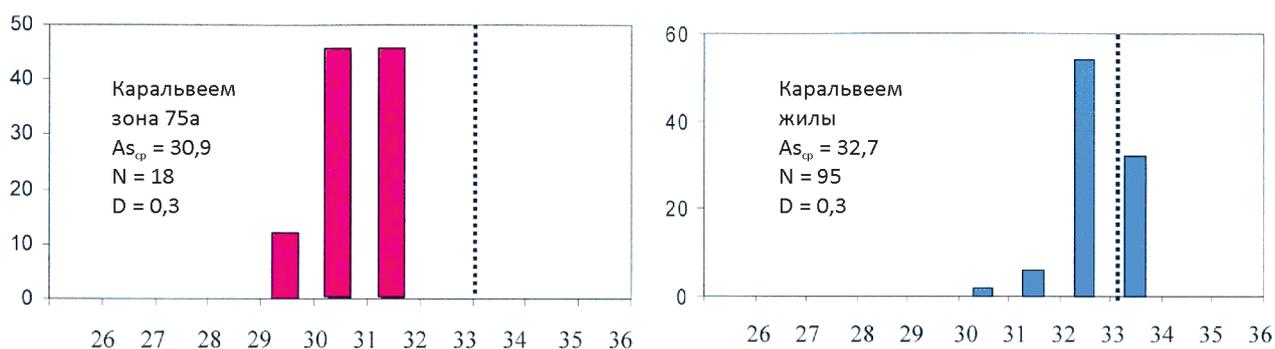


Рис. 9. Сопоставление составов арсенипирита зоны 75 (слева) и жильных тел (справа) в рудах Каральвеема:

по оси: ординат – частота встречаемости, в %, абсцисс – концентрации As, в ат.%; пунктир – линия раздела (по Е.Э.Тюковой, С.В.Ворошину, 2007) – налево в сторону золотокварцевой формации, направо – в сторону золото-кварц-висмутовой

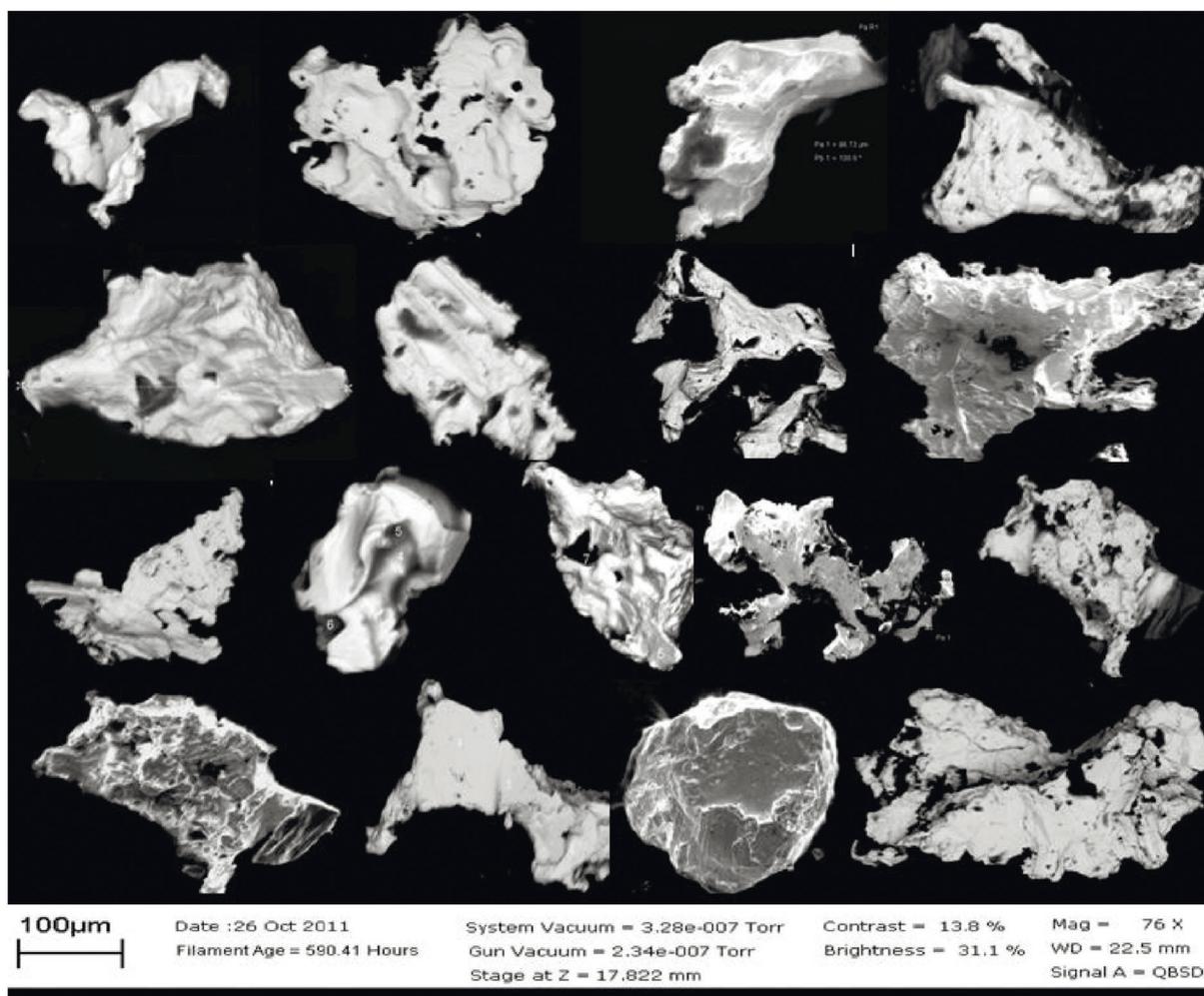


Рис. 10. Морфология частиц самородного золота из зон 75 и 74:

выделено из протоочки плавиковой кислотой, снято в отраженных электронах

IV – друзовидное на кристаллах горного хрусталя – 1–3%. Типоморфные особенности самородного Au жил и зон приведены в табл. 4. Морфология частиц Au из зон 74а и 75а обычно комковидная с многочисленными выступами и отпечатками матрицы. В хлорит-серицитовый массе отмечаются мелкие монокристаллы Au (рис. 10). По пробности оно практически не отличается от Au и жил. Золотосеребряное отношение колеблется от 6:1 до 1:1. Изучение крупности Au из зоны 75а показало, что преобладает его мелкая фракция 10–50 мкм (рис. 11). В табл. 5 показаны содержания Au и сопутствующих ему рудных компонентов в зоне 75а по результатам атомно-абсорбционного анализа, характеризующие неравномерное распределение Au в плоскости рудных зон и преобладание Co над Ni на горизонте 430 и Ni над Co на горизонте 480.

*Пирит* – главный рудный минерал зон. Он корродирует арсенопирит и почти полностью псевдоморфно за-

мещает его. В межблоковом пространстве пирита отлагаются мелкие выделения самородного золота (рис. 12). Благодаря блоковому строению пирита при дроблении он легко разрушается, переходя в пылевидную фракцию, при этом золото практически полностью высвобождается. Это делает руды метасоматических зон легкообогатимыми. Тонковкрапленная золотая минерализация сосредоточена в основном в пирите, в меньшей степени в хлорите, сериците, кварце (см. рис. 12), в отличие от жильных тел, где золото часто находится в тесном сростании с арсенопиритом и галенитом.

На основе изучения пространственно-временных отношений минералов и минеральных парагенезисов построена схема последовательности минералообразования, по существу являющаяся геолого-генетической моделью оруденения. С учетом полученных новых фактов в гипогенном этапе выделена новая стадия – рудоотложение в зонах. Этой стадии сопутствовала

#### 4. Результаты атомно-абсорбционного анализа штучных проб из зоны 75а (в г/т)

Номера		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
анализов	проб							
<i>Горизонт 430 м</i>								
0	КРВ-II-1г	0,48	1,9	90,2	125,6	30,3	8,7	23,4
1	КРВ-II-2г	1,84	1,8	37,3	135,0	20,4	10,3	18,6
2	КРВ-II-3г	2,06	2,0	68,7	116,8	20,8	8,2	18,0
3	КРВ-II-4г	8,85	2,3	43,1	116,9	12,4	6,9	17,1
4	КРВ-II-5г	0,52	1,2	34,0	85,0	20,3	6,8	19,0
5	КРВ-II-6г	0,55	1,24	42,4	69,1	3,6	6,8	13,4
6	КРВ-II-7г	0,28	1,7	31,2	93,3	15,3	9,2	20,7
7	КРВ-II-8г	0,13	2,7	74,5	75,2	15,1	21,4	19,5
8	КРВ-II-9г	0,13	1,2	69,1	56,7	13,3	38,6	16,6
9	КРВ-II-10г	3,20	2,1	111,3	70,7	13,0	44,7	20,3
10	КРВ-II-11г	0,30	1,2	133,5	80,0	20,4	50,5	24,7
11	КРВ-II-12г	0,34	1,2	131,2	80,6	17,9	51,7	23,5
12	КРВ-II-13г	0,31	1,3	139,6	93,4	26,9	53,0	24,4
<i>Горизонт 480 м</i>								
0	КРВ-II-15г	0,16	1,2	14,6	201,0	35,9	9,9	11,2
1	КРВ-II-16г	0,52	37,1	21,6	156,4	31,7	7,7	8,4
2	КРВ-II-17г	0,25	1,8	45,4	200,0	32,0	9,2	10,3
3	КРВ-II-18г	0,12	1,3	15,9	158,6	25,3	8,0	9,6
4	КРВ-II-19г	0,78	2,6	15,1	113,9	19,8	14,4	8,3
5	КРВ-II-20г	4,70	1,8	64,1	159,4	19,0	50,1	8,9
6	КРВ-II-21г	5,00	2,5	98,8	145,3	18,3	35,9	8,8
7	КРВ-II-22г	5,80	2,0	76,6	174,2	13,8	34,1	9,5
8	КРВ-II-23г	4,50	1,8	123,3	142,6	19,0	27,3	10,3
9	КРВ-II-24г	4,38	1,5	80,6	181,0	23,0	27,7	8,9
10	КРВ-II-25г	20,60	3,1	73,8	170,5	22,5	24,1	7,5
11	КРВ-II-26г	0,63	1,5	41,6	170,4	18,4	23,0	8,9
12	КРВ-II-27г	8,86	1,8	153,6	223,7	46,5	21,5	9,6
13	КРВ-II-28г	0,47	1,1	82,0	72,1	27,6	35,9	18,9

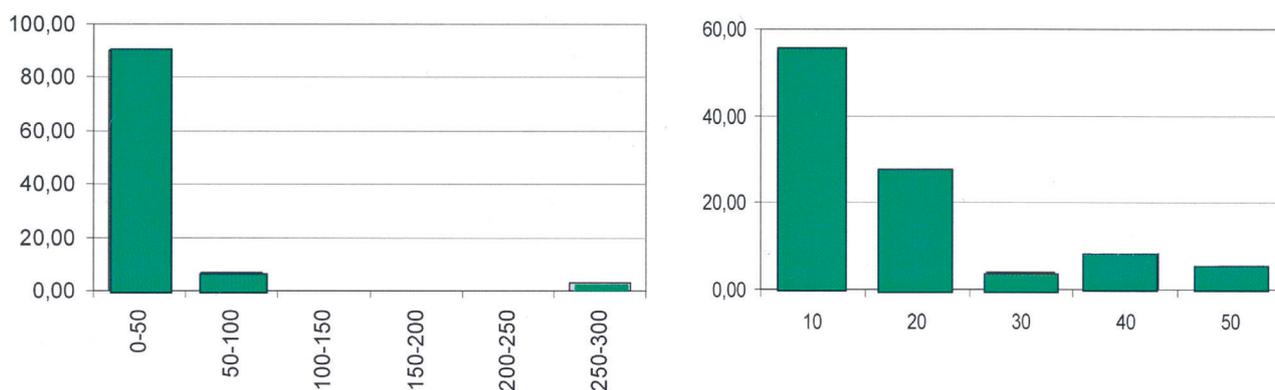


Рис. 11. Гистограммы крупности золота зоны 75а:

для всего золота (слева); для тонкого золота (справа); по оси: ординат – частота встречаемости (в %), абсцисс – классы крупности (в мкм)

5. Типоморфные особенности самородного золота в рудах месторождения Каральвеем

Характеристики	Участок Безымянный		Участок Промонна	
	Жилы 36 и 45	Зона 75	Жилы 3-3а	
Морфология частиц	<p><b>1-й тип:</b> ксеноморфное, интерстициальное в кварце;</p> <p><b>2-й тип:</b> округлые, неправильной формы и пластинчатое по трещинам катаклаза в арсенопирите и галените;</p> <p><b>3-й тип:</b> мелкие точки, каплевидное в арсенопирите</p>	<p><b>1-й тип:</b> микрокристаллы (идиоморфные) в кварце, хлорите и сериците;</p> <p><b>2-й тип:</b> комковидное неправильной формы и каплевидное в пирите, реже арсенопирите</p>	<p><b>1-й тип:</b> ксеноморфное, интерстициальное в кварце;</p> <p><b>2-й тип:</b> округлые, неправильной формы и пластинчатое по трещинам катаклаза в арсенопирите и галените;</p> <p><b>3-й тип:</b> мелкие точки, каплевидное в арсенопирите;</p> <p><b>4-й тип:</b> сростки октаэдрических кристаллов на горном хрустале</p>	
Пробность, %	Жила 36	Жила 45	1-й тип <u>951–827</u> 904	1-й тип 828, 857,903
	1-й тип <u>902–895</u> 900	1-й тип <u>902–895</u> 900		
	2-й тип <u>893–873</u> 880	2-й тип (сростки с галенитом) <u>914–899</u> 908	2-й тип <u>869–932</u> 888	2-й тип <u>893–873</u> 880

структурная перестройка (см. табл. 2), изменение минерального состава метасоматитов, с отложением золота в пирите и обеднение рудообразующей системы As. (табл. 6).

**Термобарогеохимическая характеристика руд.** Кварц месторождения Каральвеем характеризуется высокой насыщенностью флюидными включениями (ФВ), в основном размером от 2 до 20 мкм. Для кварца из рудных жил 3а и 45 характерно преобладание ФВ размером от 10 до 50 мкм.

Температурный интервал гомогенизации ФВ – 310°–181°С, при наиболее распространенных температурах

гомогенизации ФВ – 250°–220°С. Все изученные флюидные включения заполнены низко концентрированным – 2,35–5,86 мас. % экв. NaCl ( $T_{пл.л.} = -2^{\circ} \dots -3,6^{\circ}C$ ) соевым раствором гидрокарбонатно-сульфатного состава ( $T_{эвт.} = -21^{\circ} \dots -37^{\circ}C$ ) с примесями углекислоты, что сопоставимо с данными валового анализа состава ФВ, проведенного в ФГУП ЦНИГРИ С.Г.Кряжевым [14]. По его данным, первичные флюидные включения в кварце имеют следующий состав (г/кг H<sub>2</sub>O): (Na 0,87, K 0,07, Ca 0,03, Mg 0,03)/(Cl 0,03, SO<sub>4</sub> 0,06, HCO<sub>3</sub> 0,91), минерализация 25 г/л, с примесью цветных металлов (мг/кг H<sub>2</sub>O): Li 40, B 550, Rb 2, Sr 2, Sb 4,

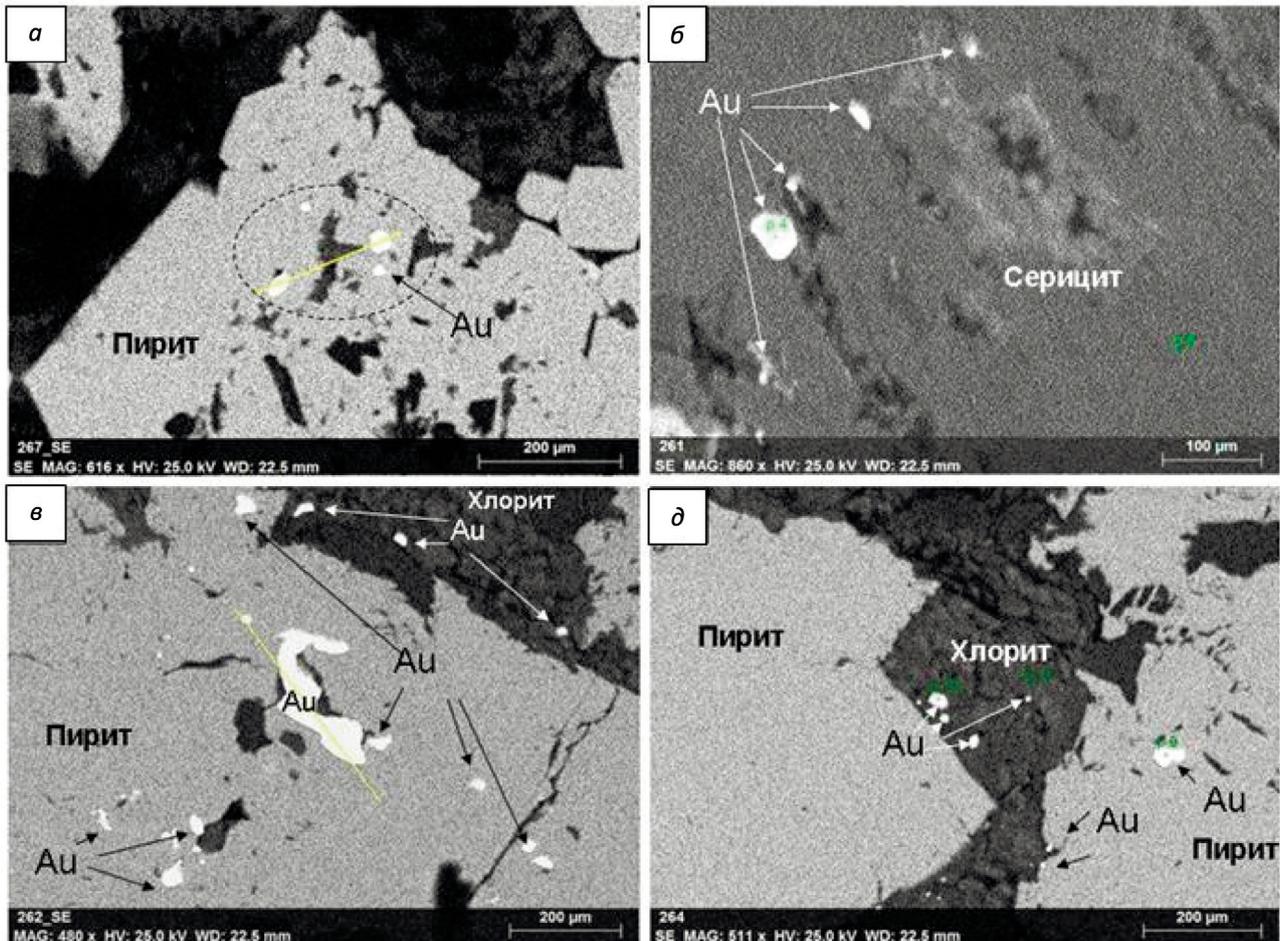


Рис. 12. Вкрапленное золото в рудах зоны 75а (растровое изображение):

золото: а, в – в пирите, б – сериците, г – хлорите

As 335, Ba 1, Pb 6, Zn 160, Cu 80, Ni 3, Sn 1, W 1. По термометрическим характеристикам выделяются ФВ из кварца жил 45 и 3а. Для них характерны наличие газогидратов  $\text{CO}_2$ , повышенные температуры гомогенизации ФВ –  $265^\circ\text{--}310^\circ\text{C}$ , низкие концентрации растворов и наличие в них ионов Mg ( $T_{\text{эвт.}} = -32,5^\circ\text{C}$ ) (табл. 7). Выявленные отличительные особенности, возможно, связаны со структурной позицией данных рудных тел (зоны повышенной трещиноватости). Проведенные термо- и криометрические исследования позволяют сделать следующие выводы. Формирование рудных жил месторождения Каральвеем происходило в условиях равномерного поступления низко концентрированного гидрокарбонатно-сульфатного флюида с примесью углекислоты при давлении порядка 600–1200 бар [11, 14, 16]. В трещиноватых зонах при резком снижении давления до 200–300 бар происходило вскипание углекислотно-водного флюида, о чем свидетельствует преобладание крупных ( $>20\ \mu\text{m}$ ), существенно газовых ФВ

в кварце жил 45 и 3а. Наличие микровзрывов и «расшнуровки» флюидных включений указывает на поздние эманации более высокотемпературного флюида, но их небольшое распространение позволяет говорить о незначительности этих событий.

В заключение отметим следующее. В результате проведенного детального анализа структуры золоторудного месторождения Каральвеем намечена поэтапная эволюция формирования структуры. Рудный этап разделяется на два подэтапа: на первом этапе формировались рудные тела в кварцевых жилах, на втором – рудные зоны (74а и 75а) (см. табл. 2).

Выявлены элементы-индикаторы рудных зон 74а и 75а – Nb, Fe, Zn и сделано предположение о существовании еще одной подобной зоны на горизонте штольни 8. Показано, что волновая геохимическая зональность характерна для рудных зон, прямая, в разной степени контрастная – для жил. Следует обратить внимание на поведение Nb, Sn и Be, максимальные содержания

Таблица 6. Схема последовательности минералообразования на месторождении Каральвеем

МИНЕРАЛЫ	ЭТАПЫ				Вторичное минералообразование
	ГИПОГЕННЫЙ			Рудоотложение в зонах	
	Допродуктивный	Рудоотложение в жилах			
		1-стадия	2-стадия		
Эпидот	██████████				
Аксинит	██████████				
Мусковит	██████████				
Хлорит	██████████			██████████	
Серицит	██████████			██████████	
Берилл		██████████			
Актинолит				██████████	
Апатит				██████████	
Кварц	██████████	██████████	██████████	██████████	
Анкерит	██████████		██████████		
Сидерит			██████████		
Кальцит	██████████		██████████	██████████	
Шеелит			██████████		
Пирротин	██████████				
Арсенопирит		██████████	██████████		
Пирит		██████████		██████████	
Сфалерит			██████████		
Галенит			██████████		
Халькопирит	██████████		██████████		
Блѣклая руда			██████████		
Ширмерит?			-----		
Самородный Вi			██████████		
Самородное Au		██████████	██████████	██████████	
Гидрооксиды Fe					██████████
Гидрооксиды Mn					-----
Скородит					██████████
Англезит					██████████
Церуссит					██████████
Каламин					██████████
Гипс					██████████

которых тяготеют к центральным частям указанных рудных зон, что позволяет предположить генетическую связь оруденения с гранитоидами. На флангах месторождения установлены аномалии Au и Вi, которые не исключают того, что здесь проявлено оруденение золото-висмутевого типа.

Изучена минералогия рудно-метасоматических зон 74а и 75а (оруденение нового типа для Каральвеемского месторождения), которая охарактеризована в

сравнительном плане с жильными телами. Формирование зон выделено в отдельную стадию (см. табл. 6), которой сопутствовала структурная перестройка, а также изменение минерального состава метасоматитов, с отложением золота в пирите и обеднение рудообразующей системы As. Основными минералами, образующими сростания с золотом в жильных телах 45 и 36, являются арсенопирит, галенит и кварц, а в зонах вкрапленных руд 74а и 75а – пирит. Преобладающая

## 7. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Каральвеем

Пробы	Привязка	Температуры фазовых переходов, °С							Расчетные	
		Тип ГЖВ	$T_{\text{звт.}}$	$T_{\text{пл. л.}}$	$T_{\text{пл. ГГ}}$	$T_{\text{пл. CO}_2}$	$T_{\text{гом. CO}_2}$	$T_{\text{гом. (Ж-Г)}}$	С солей, мас. %-экв. NaCl	Компонентный состав водно-солевой системы
3002	Жила 36, гор. 520, шт-19	L	-22,6	-2,8	н	н	н	230–250	4,65	NaCl–Na <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>8</sub> –H <sub>2</sub> O
3006-2	Жила 45, гор. 520, шт-19	LC	-32,5	-3,5	8,7	-57,7	24Г	265–310	2,35	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
3015	Зона 75, гор. 480, шт-6	L	-37,6	-2	н	н	н	245	3,39	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> –K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> –H <sub>2</sub> O
		L	-20	-3,6	н	н	н	181–270	5,86	NaCl–H <sub>2</sub> O
		L	-23,2	-2,9	н	н	н	220–270	4,8	NaCl–KCl–H <sub>2</sub> O
		L	-33	-2	н	н	н	270–281	3,39	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
3032	Жила 3а, гор. 680, шт-5	LC*	-33	-3,1	10,8	-59,2	24,8Г	265	4,5	MgCl <sub>2</sub> –H <sub>2</sub> O
		L*	-21	-2,5	н	н	н	250	4,18	NaCl–H <sub>2</sub> O
		L	-27,8	-3	н	н	н	212	4,96	NaCl–KCl–H <sub>2</sub> O
		L	-21	-3,1	н	н	н	227–252	5,11	NaCl–H <sub>2</sub> O

**Примечание.** Каждая строчка в таблице характеризует группу включений (не менее 5) с близкими *P-T-X*-параметрами, присутствующих в одном или нескольких образцах; н – соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; LC – углекислотно-водные; С – газодные; L – двухфазовые газод-жидкие; Ж – гомогенизация углекислоты в жидкую фазу; Г – в газовую фазу; \* – данные, полученные совместно с д-ром геол.-минер. наук В.Ю.Прокофьевым на базе лаборатории рудных месторождений им. А.Г.Бетехтина ИГЕМ.

размерность самородного золота в зонах 10–50 мкм, пробность – 827–951%. Составлена схема стадийного минералообразования. Отличительной чертой рудных зон 74а и 75а также являются увеличенные содержания апатита до 1–2%, что, вероятно, связано с выносом F из осадочных толщ триаса.

Проведены термо- и криометрические исследования индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Каральвеем, которые показали, что формирование рудных жил описываемого месторождения происходило в условиях равномерного поступления низкоконцентрированного гидрокарбонатно-сульфатного флюида с примесью углекислоты при давлении порядка 600–1200 бар, а наличие микровзрывов и «расшнуровки» флюидных включений указывает на поздние эманации более высокотемпературного флюида, возможно, связанные с формированием рудно-метасоматических зон.

*Авторы выражают благодарность главному геологу ООО «Рудник Каральвеем» В.В.Гаитольду за предоставленную возможность проведения работ на месторождении Каральвеем.*

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФ, проект № 14-17-00170 и гранта ДВО РАН (программа Дальний Восток) № 15-1-2-038.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Г.В. Гипсометрический анализ в металлогении. – Л.: Недра, 1990.
2. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газод-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
3. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Зональность изменения типоморфных свойств минералов одного из золоторудных месторождений Восточной Якутии // Типоморфные особенности рудных минералов эндогенных образований Якутии. – Якутск, 1983. С. 6–19.
4. Гамянин Г.Н. Минералогическо-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозоид. – М.: Геос, 2001.
5. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алтаев В.В. Нежданское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2000.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Под ред. А.И.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572+цвет. карта.
7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Недра, 1975.
8. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
9. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.

10. *Гущенко О.И.* Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере / Под. ред. А.С.Григорьева. – М.: Наука, 1979. С. 7–25.
11. *Давиденко Н.М.* Минеральные ассоциации и условия формирования золотоносных кварцевых жил Мало-Аннуйского района Западной Чукотки. – Новосибирск: Наука, 1975.
12. *Золоторудное* месторождение Каральвеем: новые данные о геологии, минералогии и условиях формирования / Н.А.Горячев, В.В.Гаштольд, Н.Е.Савва и др. // Мат-лы докл. всерос. научной конференции 26–28 ноября 2013 г. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2013. С. 94–96.
13. *Кондратьев М.Н.* Структурная модель формирования золоторудного месторождения Каральвеем // Третья тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН / Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле // Тез. докл. всерос. конф. В 2 томах. – М., 2012. Т. 2.
14. *Кряжев С.Г., Двуреченская С.С., Уютов В.И.* Формирование золоторудного месторождения Кекура // Мат-лы всерос. конф. (с международным участием), посвященной 100-летию Н.А.Шило: «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». – М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 89.
15. *Мельников Ф. П., Прокофьев В. Ю., Шатагин Н. Н.* Термобарогеохимия. – М.: Академический проект, 2008.
16. *Минералогические* особенности золоторудного месторождения Кекура (Чукотка) / С.С.Двуреченская, С.Г.Кряжев, Г.Н.Нурғалиев, А.А.Елманов // Минералогические исследования и минерально-сырьевые ресурсы России. Мат-лы годичной сессии Российского минералогического общества. – М.: ИГЕМ РАН, 2007. С. 92–93.
17. *Николаев П.Н.* Методика тектонодинамического анализа. – М.: Недра, 1982.
18. *О возрасте* гранитных интрузий Аннуйско-Чукотской складчатой системы / С.М.Катков, А.Стриклэнд, Э.Л.Миллер, Дж.Торо // ДАН. 2007. Т. 414. № 2. С. 219–222.
19. *Ползуненков Г.О., Кондратьев М.Н.* Патент 137609 Российская Федерация, МПК G 01 С 17/00. Геологический электронный компас. Патентообладатель СВКНИИ ДВО РАН. № 2013130074/28. Заявл. 01.07.2013. Оpubл. 20.02.2014. Бюл. № 5.
20. *Поля напряжений* в зонах разломов и формирование структуры рудных полей // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. С. 151–158.
21. *Смирнов В.Н.* Развитие морфоструктуры Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий / Мат-лы XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 39–41.
22. *Тюкова Е.Э., Ворошин С.В.* Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Кольмского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2007.
23. *Seminsky K.Zh.* 2014. Specialized mapping of crustal fault zones. Part 1: Basic theoretical concepts and principles // Geodynamics & Tectonophysics 5 (2). 445–467. doi:10.5800/GT 2014520136.16.
24. *Darling R. S.* An extended equation to calculate NaCl contents from final clathrate melting temperatures in H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl fluid inclusions: Implications for *P-T* isochore location // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1991. Т. 55. № 12. С. 3869–3871.
25. *Bodnar R.J.* Reequilibration of fluid inclusions // Fluid inclusions: Analysis and interpretation. 2003. Vol. 32. Pp. 213–230.
26. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Ed. by: Benedetto De Vivo, Maria Luce Frezzotti. Pontignano-Siena. 1994. Pp. 117–130.

## Геохимическая зональность даек позднеживетского габбро-диабазового комплекса на Джусинском колчеданно-полиметаллическом месторождении, Южный Урал

Е.И.ЯРЦЕВ (Московский государственный университет (МГУ) им. М.В.Ломоносова; 119991, г. Москва, ГСП-1, Воробьевы горы, д. 1; ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук (ИГЕМ РАН); 119017, г. Москва, Ж-17, Старомонетный пер., д. 35),  
Н.Н.ШАТАГИН (Московский государственный университет (МГУ) им. М.В.Ломоносова; 119991, г. Москва, ГСП-1, Воробьевы горы, д. 1)

Кластерный анализ содержаний малых элементов в дайках габбро-диабазового комплекса позволил выявить различие в концентрации редкоземельных и высокозарядных элементов и выделить разные по составу группы даек. Нормирование к хондритовому стандарту показало неоднородные тренды распределения лантаноидов. Использование множественной регрессии выявило неодинаковую вертикальную геохимическую зональность для каждой группы. *Ключевые слова:* Джусинское месторождение, кластерный анализ, множественная регрессия, колчеданные руды.

Ярцев Евгений Игоревич  
Шатагин Николай Николаевич



yar@geol.msu.ru  
shatagin@geol.msu.ru

## Geochemical zoning of dykes from Late Givetian gabbro-diorite complex at Dzhusa pyrite polymetallic deposit, South Urals

E.I.YARTSEV, N.N.SHATAGIN

Cluster analysis of minor elements contents in dykes of porphyry gabbro allowed to reveal differences in concentration of REE and high-charge elements and distinguish groups of dykes different in composition. Chondrite normalizing values for lanthanides demonstrate nonuniform trends. Application of multiple regression enabled to establish varying vertical geochemical zoning in dykes of various groups.

*Key words:* Dzhusa ore deposit, cluster analysis, multiple regression, massive sulfide ore.

Широкое распространение субвулканических тел и разновозрастных даек на Джусинском колчеданно-полиметаллическом месторождении, а также сложность взаимоотношений этих образований с оруденением вызывает не только научный, но и практический интерес. Последний вызван тесной пространственной связью оруденения с участками максимальной концентрации даек габбро-диабазового субвулканического комплекса [4, 6, 8]. С одной стороны, выдвинутое предшествующими исследователями [2, 8] положение о том, что дайки явились своеобразными экранами для рудоотложения, дает возможность оценить их роль в распределении максимальных концентраций рудных компонентов и значение в формировании рудных столбов. С другой – авторами при многолетних полевых исследованиях наблюдались контактовые взаимоотношения даек как с явно наложенным на них оруденением и согласного залегания с линзовидными рудными телами

месторождения, так и отчетливые секущие, говорящее о явном пострудном внедрении даек. С последними, вероятно, может быть связан контактовый метаморфизм руд и перераспределение рудного вещества.

Цель работы – краткая петрографическая характеристика даек габбро-диабазового комплекса с последующим выделением различных по составу подгрупп этих образований на основании распределений содержаний редкоземельных элементов, а также выявление специфических геохимических особенностей для каждой группы даек с использованием статистических методов.

**Характеристика Джусинского месторождения.** Джусинское колчеданно-полиметаллическое месторождение размещено в пределах Теренсайско-Карабу-такской антиклинальной зоны. Теренсайский рудный район, к которому приурочено месторождение, расположен на восточном склоне Южного Урала. В административном отношении он принадлежит к Адамов-

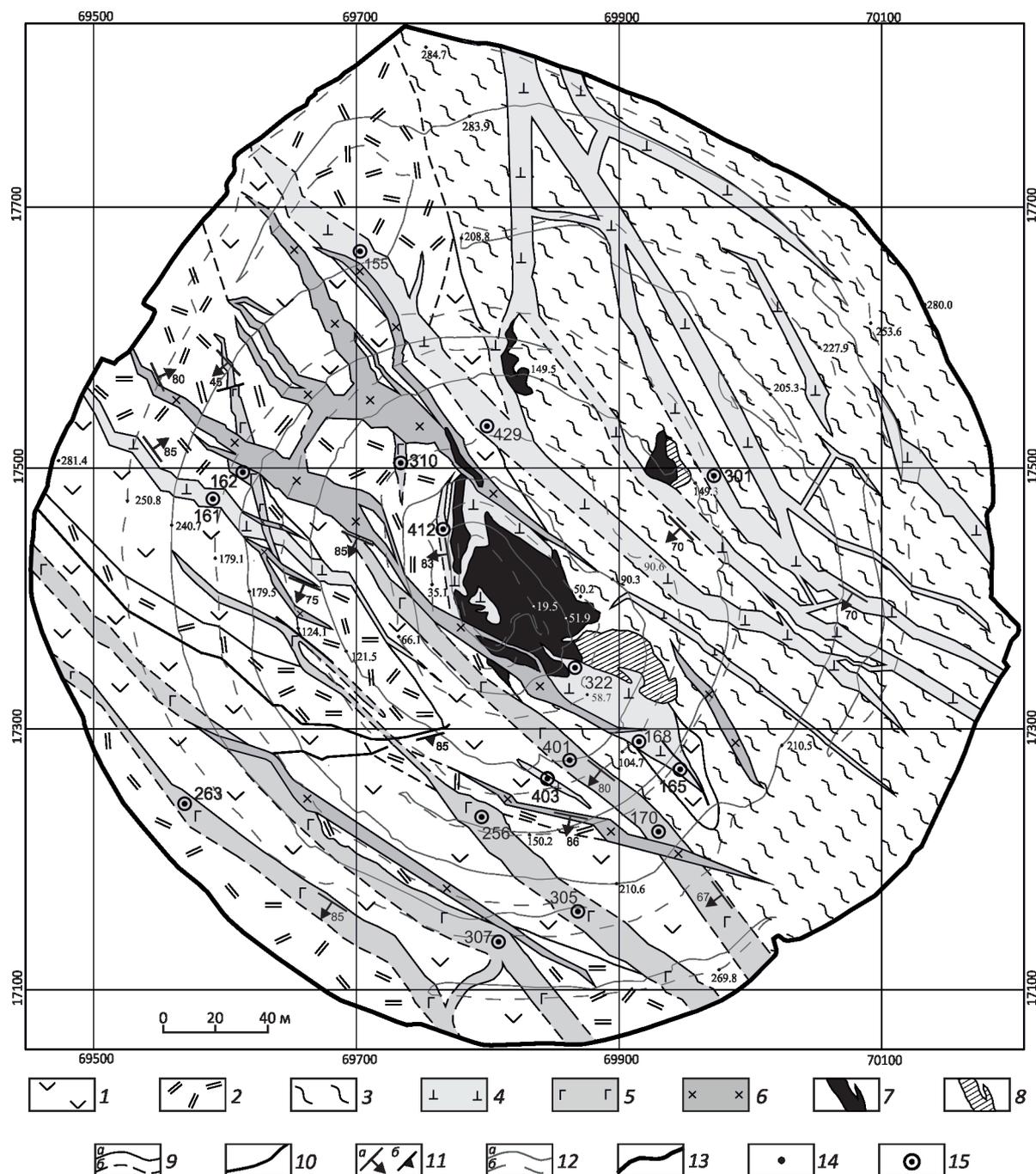


Рис. 1. Схематическая геологическая карта карьера Джусинского месторождения. Составитель Е.И.Ярцев, 2015:

1 – андезиты; 2 – дациты; 3 – кварц-серицитовые метасоматиты; 4–5 – дайки раннеэфельско-раннеживетского габбро-диабазового субвулканического комплекса: 4 – дорудные D<sub>2</sub>ef<sub>1</sub>, 5 – пострудные D<sub>2</sub>gv<sub>1</sub>; 6 – дайки раннекаменноугольного магнитогорского диоритового интрузивного комплекса; 7 – колчеданно-полиметаллические руды; 8 – серноколчеданные руды; 9 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 10 – разрывные нарушения; 11 – элементы залегания: а – контактов даек и рудных тел, б – разрывных нарушений; 12 – границы уступов карьера: а – бровки уступов, б – подножья откосов; 13 – контуры карьера; 14 – абсолютные высотные отметки; 15 – точки отбора проб; на карте показаны лишь точки отробования 2015 г., остальные пробы, участвовавшие в исследовании, были отобраны в прежние годы

скому району Оренбургской области. В геологическом отношении приурочен к участку сопряжения Восточно-Магнитогорской зоны с Восточно-Уральским мегаантиклинорием [6–8]. Джусинское месторождение представляет собой серию изолированных друг от друга линзовидных рудных залежей северо-западного простирания или столбообразных крутопадающих тел (рис. 1). Главная масса залежей сконцентрирована на небольшом участке в вулканогенной толще андезит-дацитового состава, принадлежащей к карамалыташской свите эмс-эйфельского возраста [1]. На участке месторождения широко развиты разнообразные по составу дайки раннеэйфельско-раннеживетского габбро-диабазового субвулканического комплекса и раннекаменноугольного Магнитогорского габбро-диоритового интрузивного комплекса [2, 12]. Дайки габбро-диабазового субвулканического комплекса по ряду признаков являются дорудными, а дайки нижнекаменноугольного магнитогорского комплекса – пострудными [4, 8].

**Постановка задачи и методы исследований.** При полевых исследованиях даек раннеэйфельско-раннеживетского габбро-диабазового комплекса по результатам картирования карьера Джусинского месторождения и подробной документации бортов возникло предположение о неоднородности данного комплекса: одни дайки предположительно являются субвулканическими образованиями, сформированными на этапе активного вулканизма, другие – более поздними секущими телами. Для подтверждения данной гипотезы были использованы статистические методы классификации содержаний малых, редких и редкоземельных элементов. Всего в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН было проанализировано 25 штучных проб. Количественный анализ проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, аналитик Д.Б.Петренко, 2016). Этим методом были определены содержания в ppm следующих элементов: Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U.

Для предварительного разделения даек на группы, был использован кластерный анализ (метод *k*-средних) преимущественно по редкоземельным и высокозарядным элементам. Построение REE диаграммы, нормированной к хондритовому стандарту, позволило выделить как минимум 2 группы даек по трендам распределения лантаноидов.

С целью выявления вертикальной геохимической зональности даек авторы использовали аппарат множественной регрессии [10]. Для описания вертикальной зональности наиболее важны такие параметры регрессионной модели, как коэффициенты множественной корреляции, коэффициент регрессии, частные коэффициенты корреляции и соответствующие им уровни значимости [10].

**Кластеризация проб.** При общей кластеризации содержаний с помощью модуля программы STATISTICA 10 на 2 кластера методом *k*-средних произошло явное разделение наблюдений по ряду элементов. Для выделенных кластеров 1 и 2, средние значения параметров содержаний редкоземельных (La-Ce-Pr-Nd-Sm-Eu-Gd-Tb-Dy-Ho-Er-Tm-Yb-Lu), а также некоторых высокозарядных элементов (Hf-Ta-Y-Zr-Nb-Ti) существенно отличаются друг для друга. Обе группы характеризуются высокой устойчивостью при различных геологических процессах [5], а значит, характеризуют первичный состав даек. Для более наглядной визуализации анализа методом подбора, из процедуры кластеризации были исключены элементы, вносящие несущественный вклад в разделение даек. Таким образом, первичный график был преобразован в график, демонстрирующий наиболее оптимальный вариант кластеризации (рис. 2).

Был произведен анализ наблюдений выделенных групп. В 1 кластер, состоящий из 10 наблюдений, попали пробы из тел, развитых в основном в надрудной толще вмещающих андезито-дацитов. Данная группа характеризуется меньшей степенью вторичных изменений и, в ряде случаев, секущим положением относительно рудных тел. Во вторую группу, состоящую из 15 наблюдений, попали пробы из подрудной толщи, с наложенным оруденением, а также из близконтактных зон с рудой и даек центральной рудоносной зоны. Эти пробы характеризуются высокой степенью вторичных изменений.

При разбиении на большее количество кластеров, например на 3, получим следующее распределение (рис. 3). Из рисунка видна нецелесообразность выделения 3 кластеров, поскольку два из них (2 и 3) имеют незначительно различающиеся средние значения содержаний. Увеличение количества кластеров нецелесообразно, так как такое детальное разбиение проб затрудняет их интерпретацию, поэтому ограничимся двумя.

По результатам кластерного анализа было произведено нормирование содержаний редкоземельных элементов к хондритовому стандарту (рис. 4) [11]. Как видно из графика, группу проб 1 кластера можно разделить на 2 подгруппы: первая подгруппа имеет ярко выраженный отрицательный наклон распределения, что говорит об обеднении тяжелыми лантаноидами относительно легких, вторая подгруппа имеет менее выраженный отрицательный наклон. Последняя группа (кластер 2) субпараллельно распределена относительно оси X.

Тот факт, что на диаграмме происходит плавное изменение трендов, скорее всего, говорит о том, что дайки различных подгрупп формировались с небольшим временным отрывом друг от друга.

**Характеристика выделенных подгрупп габбро-диабазового комплекса.** Первая группа, включающая пробы 162, 170, 263, 307 и др., – дайки, расположенные в юго-западной части карьера, в надрудной толще

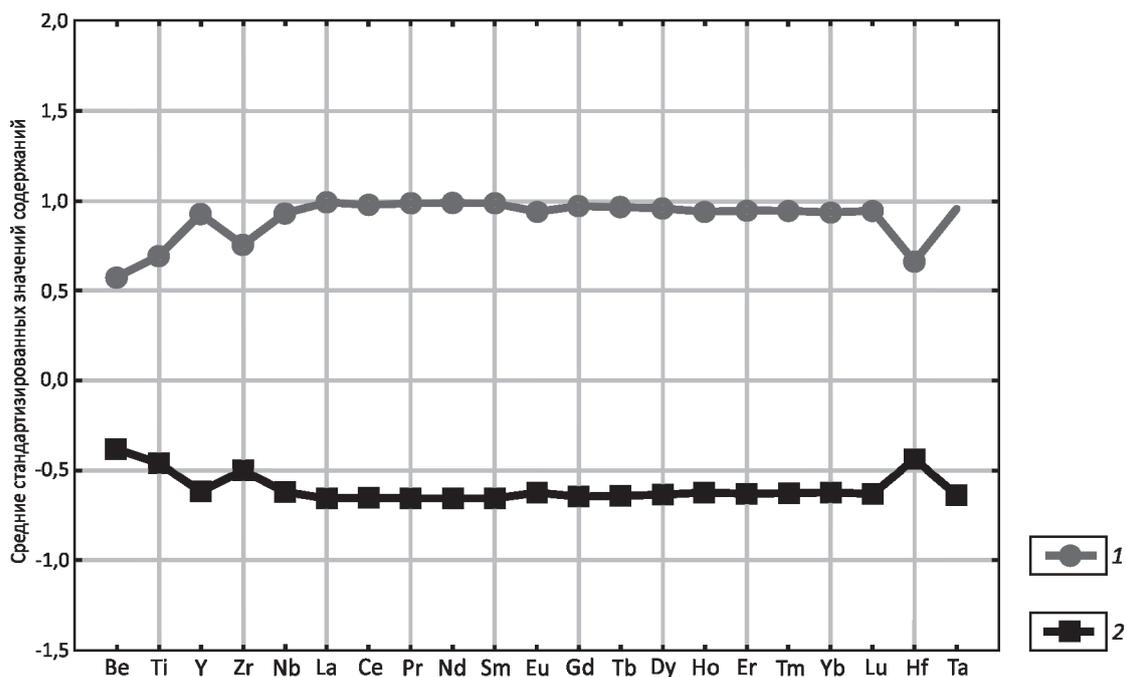


Рис. 2. Линейный график средних значений содержаний редкоземельных и высокозарядных элементов для двух кластеров: кластер: 1 – первый и 2 – второй

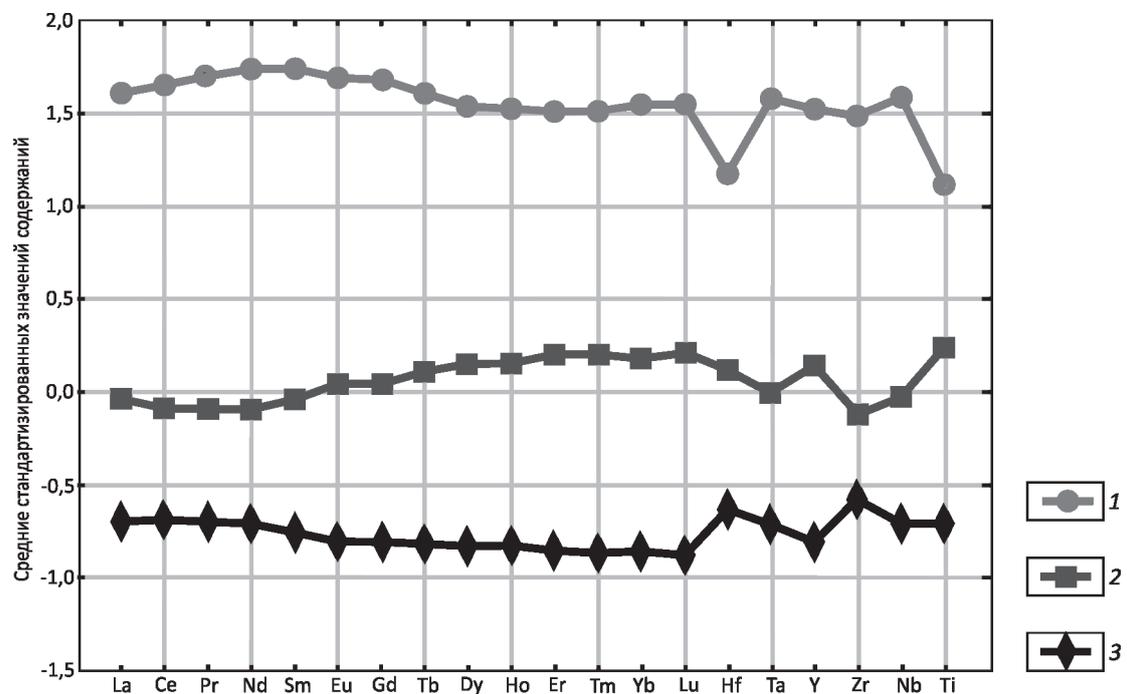


Рис. 3. График средних значений содержаний редкоземельных и высокозарядных элементов при кластеризации наблюдений на три группы:

кластер: 1 – первый, 2 – второй и 3 – третий

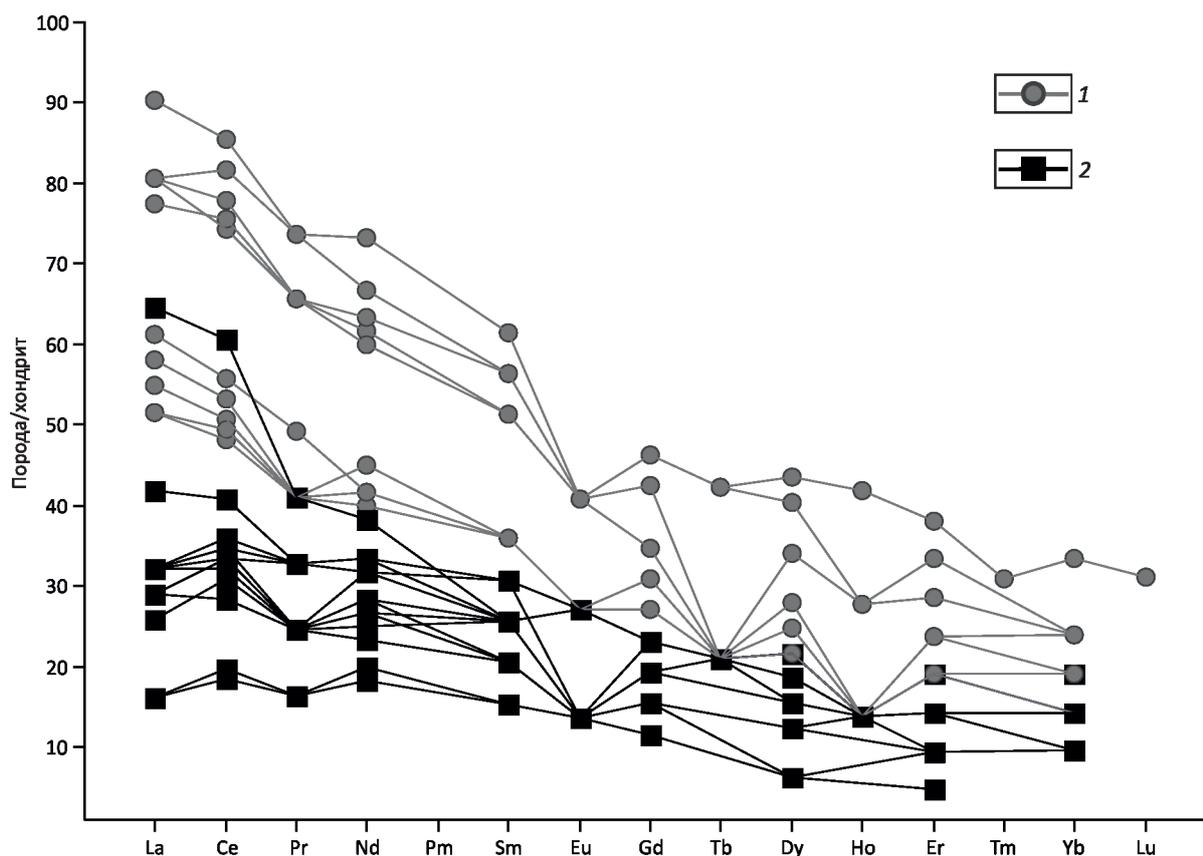


Рис. 4. Распределение REE в дайках позднеживетского габбро-диабазового субвулканического комплекса. Нормализовано к хондриту по W.V.Boynton, 1984 [11]:

кластер: 1 – первый и 2 – второй

эффузивов андезитового и дацитового составов, контактов с рудой нет (см. рис. 1). Пробы отобраны преимущественно в центральных частях даек, в интервале горизонтов 175–265 м, то есть в верхах карьера. Эти породы слабо подвержены вторичным изменениям. Макроскопически в некоторых образцах наблюдаются редкие вкрапленники плагиоклаза – структура редкопорфировая. Петрографически это афировые, гипидиоморфнозернистые или пангипидиоморфнозернистые, офитовые или габбро-офитовые структуры. Коэффициент удлинения плагиоклаза составляет 1–3, размер зерен 0,5–1 мм. Данная группа характеризуется слабой и средней степенью вторичных изменений. Текстура массивная. Состав плагиоклаза отвечает альбиту или олигоклазу.

Для второй группы (пробы 256, 305, 310, 401 и др.) какую-либо закономерность в масштабе карьера выявить не удастся – часть проб отобраны из даек вблизи рудной зоны, часть – на удалении. Группа характеризуется массивной текстурой, структура пород порфировая или редкопорфировая, в основной массе пан- или

гипидиоморфнозернистая, офитовая, пойкилоофитовая, габбро-офитовая. В порфировых разностях вкрапленники плагиоклаза имеют удлинение 1→5 при размере 0,5–1мм, состав отвечает олигоклазу, основная масса зерен – удлинение 1–2 и размер 0,3 мм. Афировые разновидности имеют удлинение зерен плагиоклаза 1–3 и размер до 1 мм, состав отвечает андезину. Степень проявления вторичных изменений – от слабой до ярко выраженной.

Третья группа проб (155, 161, 165, 168, 301, 322, 403, 412, 429 и др.) тяготеет к узкой полосе рудоносной зоны северо-западного простирания и пространственно связана с оруденением. Также сюда попадают пробы тел, развитых в кварц-серицитовых метасоматитах северо-восточной части карьера. Большинство этих тел сосредоточено в лежащем боку рудоносной зоны. Метасоматиты сформированы в процессе предрудного метасоматоза и наложены как на ранние дайки, так и на вмещающие породы месторождения. Данная группа содержит пробы массивной, пористой и миндалекаменной текстуры. Семейства структур: в основном

пан-, гипидиоморфнозернистые, редкопорфировые, афировые. Разновидности структур – габбро-офитовые, офитовые, пойкилоофитовые. Удлинение плагиоклазов основной массы варьирует в пределах 1–6, зерна крупные, в основном размером до 2 мм. Пригодные для определения состава зерна плагиоклаза диагностируются как андезин. В данной группе степень вторичных изменений проявлена наиболее сильно.

Практически во всех группах пород первичные минералы замещены вторичными – актинолитом, хлорит-эпидотовым мелкочешуйчатым агрегатом (предположительно на месте пироксенов), активно развита серицитизация, сосюритизация, хлоритизация. Между лейстами плагиоклаза встречаются также рудные минералы – лейкоксен, магнетит и пирит, а в некоторых случаях (редко) развиты кварц, карбонаты.

Рассмотрение данных групп показывает нецелесообразность разделения даек на 3 подгруппы, так как это затрудняет геологическую интерпретацию. Данное разделение неоправданно еще и потому, что две подгруппы, слагающие первый кластер, близки петрографически. Поэтому далее авторы будут выделять только две группы даек, полученные кластерным анализом (см. рис. 2) и выявляющиеся на REE-диаграмме (см. рис. 4). Таким образом, первые 2 подгруппы авторы объединили в одну группу, несущественные различия трендов лантаноидов в которой свидетельствуют лишь о некой растянутости во времени формирования даек данной группы. Разделение на две группы хорошо сочетается с геологическими данными, учитывая обнаруженный факт пересечения дайкой, принадлежащей к первому кластеру (пострудному), дайки, входящей во второй кластер (дорудный), в западной части карьера

(см. рис. 1). Таким образом, первому кластеру соответствуют слабоизмененные дайки, развитые преимущественно в надрудной толще, второму – измененные, развитые в зоне оруденения, в подрудной, реже надрудной толщах вмещающих пород.

**Множественная регрессия.** В регрессионном анализе рассматривается односторонняя связь случайной зависимой переменной от одной или нескольких независимых переменных. Независимые переменные называются предикторами, зависимые – откликами [10]. В качестве отклика в нашем случае выступает абсолютная высота пробоотбора, в качестве предикторов – концентрации химических элементов в ppm. Расчеты проводились для каждой из двух групп наблюдений в отдельности, выделенных по результатам кластерного анализа и анализа распределения редкоземельных элементов, нормированного к хондриту.

В результате первого просчета в модуле Multiple Regression программы STATISTICA 10 [5] был получен набор статистической информации (табл. 1).

Из приведенных результатов анализа следует, что зависимость между откликом и предикторами в обоих кластерах сильная ( $R^2 > 0,75$ ), то есть построенные линейные регрессии адекватно описывают взаимосвязь между откликом и предикторами. Кроме того, значение  $R^2$ , близкое к 1 (как в первом, так и во втором кластерах), показывает, что модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных [9].

Следующим шагом в программе было определение значимых коэффициентов регрессии и определение частных коэффициентов корреляций (таблицы 2 и 3). После просчета в программе STATISTICA 10 программа выдает значимые и не значимые коэффициенты

### 1. Результаты множественной регрессии для двух кластеров наблюдений

Кластер	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	F	p	σ
1	0,999999951	0,999999990	0,999999913	129342	0,00068	0,052242
2	0,999999990	0,999999998	0,999999973	401944	0,00039	0,023141

*Примечание.* Коэффициент: R – множественной корреляции, R<sup>2</sup> – детерминации, Adjusted R<sup>2</sup> – скорректированный детерминации; F – значение F-критерия; p – уровни значимости, σ – стандартная ошибка оценки.

### 2. Значимые коэффициенты для первого кластера

Коэффициенты	Tl	Ga	Sr	Eu	Sc	Zn	Ta	Sm
β	-0,42	0,79	0,55	-0,61	-0,33	0,11	0,13	-0,07
r	-0,99	1,00	0,99	-0,99	-0,99	0,99	0,99	-0,99

*Примечание.* Здесь и в табл. 3: β – значимые коэффициенты регрессии, r – коэффициенты частной корреляции.

### 3. Значимые коэффициенты для второго кластера

Коэффициенты	Nd	Co	Th	As	Se	Nb	Tm	Sm	Mn	Sr	V	U	Cd
β	2,40	-0,01	3,57	-3,93	2,02	-1,66	2,05	-3,14	0,47	0,18	0,39	-0,03	0,003
r	0,99	-0,99	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	0,99	0,99	0,99	-0,99	0,99

#### 4. Предсказанные и наблюдаемые значения зависимой переменной (высоты горизонта) для 1 кластера

Номера проб	Наблюдения	Предсказанные значения
Dj-162	180,00	179,96
Dj-170	150,00	150,02
Dj-221	110,00	109,98
Dj-263	252,00	252,00
Dj-307	220,00	219,99
Dj-148	160,00	159,99
Dj-310	60,00	60,01
Dj-305	210,00	210,02
Dj-256	150,00	149,99
Dj-324	197,00	197,00

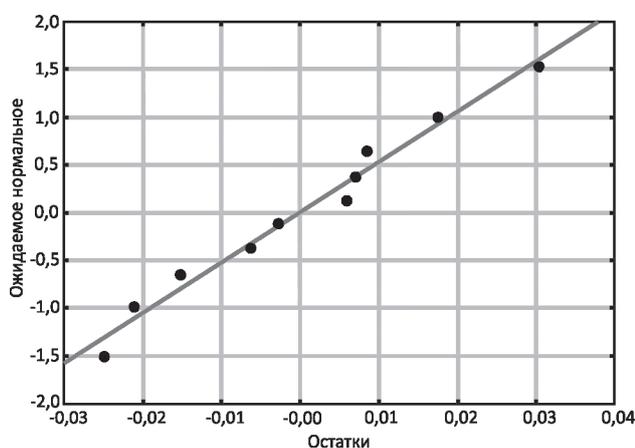


Рис. 5. Нормальный вероятностный график остатков для первого кластера наблюдений

регрессий. Значимыми оказались коэффициенты регрессий для содержаний: первого кластера – **Sm**, **Eu**, **Ta**, **Tl**, **Ga**, **Sc**, **Sr**, **Zn**; второго – **Nd**, **Sm**, **Tm**, **As**, **Sr**, **Cd**, **Co**, **Se**, **V**, **Th**, **Nb**, **Mn**, **U**. Содержания этих элементов изменяются с глубиной линейно, остальные компоненты подчиняются другим законам распределения и из расчётов удаляются [10]. Среди значимых есть как элементы с положительными, так и отрицательными коэффициентами. Положительные значения коэффициентов свидетельствуют об увеличении содержаний химических элементов вместе с увеличением высоты пробоотбора. Отрицательные значения соответствуют увеличению их содержания с глубиной. Заметим, что в двух группах даек существуют повторяющиеся элементы – **Sr**, **Sm**. Они характерны для обоих кластеров и имеют одинаковую закономерность концентрации в обоих комплексах (**Sr** концентрируется в верхних гори-

зонтах, в то время как **Sm** – в нижних). Коэффициенты частной корреляции позволяют ранжировать предикторы по тесноте их связи с вертикальной координатой (см. таблицы 2 и 3) [10].

Уравнения регрессии можно использовать для прогноза значений отклика (высоты горизонта) по значению предикторов – концентрации элементов. В табл. 4 в качестве примера показаны наблюдаемые и предсказанные программой значения зависимой переменной для 1 кластера.

Важной характеристикой регрессионного анализа являются остатки. Для визуального анализа можно использовать нормальные вероятностные графики остатков (рис. 5), из которого видно, что точки расположены близко к прямой, следовательно, регрессионная модель адекватна результатам наблюдений [3].

Проанализировав полученные выше данные, можно сделать следующие выводы. Кластеризация проб по содержаниям малых и редких элементов позволила отчетливо выявить две различающиеся по составу подгруппы тел в составе раннеэйфельско-раннеживетского габбро-диабазового субвулканического комплекса. Различие проявлено в распределении редкоземельных и высокозарядных элементов. Нормирование содержаний лантаноидов к хондритовому стандарту подтвердило целесообразность такого разделения. Кроме того, в составе выделенного 1 кластера по REE-диаграмме выявляются свои 2 подгруппы. Геологическая и петрографическая интерпретация получившихся 3 групп наблюдений показала целесообразность выделения 2 групп даек. Проведенная по этим двум группам множественная регрессия с целью выявления особенностей вертикальной геохимической зональности показала следующие результаты. Образования габбро-диабазового субвулканического комплекса имеют разную вертикальную геохимическую зональность по ряду элементов. Для первого кластера с высотой будут возрастать содержания **Ta**, **Ga**, **Sr**, **Zn**, а с глубиной будут увеличиваться содержания **Eu**, **Tl**, **Sc**, **Sm**. Для второго – с высотой пробоотбора происходит линейное увеличение содержаний **Nd**, **Tm**, **Sr**, **Cd**, **Se**, **V**, **Th**, **Mn**, в то время как повышенные концентрации **As**, **Co**, **Sm**, **Nb**, **U** будут обнаруживаться на нижних горизонтах. Данный факт подтверждает адекватность выделения в составе комплекса подгрупп даек, так как эти образования имеют разную вертикальную геохимическую зональность.

Из результатов исследований следует заключить, что статистический аппарат множественной регрессии можно использовать в качестве метода, позволяющего выявить и охарактеризовать зональность магматических пород, и как один из вспомогательных методов их типизации, что необходимо учитывать при проведении разведочных работ.

*Работа выполнена при поддержке программы прецидиума РАН I.4П («Урал»).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюшкова О.В.* Конодонтовые комплексы эмса–среднего девона Магнитогорского мегасинклинория и их стратиграфическая приуроченность // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2000. Т. 75. Вып. 2. С. 16–23.
2. *Воробьев В.И.* Геологические закономерности размещения медноколчеданных и медно-полиметаллических месторождений в Теренсайском рудном районе (Южный Урал) // Дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1968.
3. *Вуколов Э.А.* Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. – М.: Форум, 2008.
4. *Ерёмин Н.И., Коган Б.С.* Взаимоотношения даек и оруденения на Джусинском колчеданно-полиметаллическом месторождении (Южный Урал) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1964. Т. 39. № 6. С. 137–138.
5. *Интерпретация геохимических данных* // Под ред. Е.В.Склярова. – М: Интермет Инжиниринг, 2001.
6. *Косарев А.М., Артюшкова О.В.* Джусинский палеовулканический комплекс: стратиграфическое положение, геохимические особенности, геодинамические реконструкции // Геологический сборник ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2007. № 6 С. 174–180.
7. *Рыкус М.В.* Вулканизм и металлогения Джусинско-Домбаровского палеовулканического пояса Южного Урала // БНЦ УрО РАН. – Уфа, 1992.
8. *Теренсайский рудный район* / Н.И.Ерёмин, В.И.Воробьев, Г.С.Петрова, Г.Ф.Яковлев // Палеозойский вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 177–208.
9. *Халафян А.А.* STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 2-е изд., переработ. и дополн. Учебник. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2010.
10. *Шатагин Н.Н., Сергеев А.Л.* Использование множественной регрессии для изучения вертикальной геохимической зональности рудных месторождений (на примере медно-порфирового месторождения Песчанка, Чукотка) // Научная конференция: Ломоносовские чтения. – М.: МГУ, 2012.
11. *Boynnton W.V.* Cosmochemistry of the rare earth elements meteorite studies. In: Henderson P. (Ed.) // Rare Earth Element Geochemistry. – Amsterdam: Elsevier, 1984. Pp. 63–114.
12. *Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals.* Ore geology / I.V.Vikentyev, E.V.Beloglob, K.A.Novoselov, V.P.Moloshag // Ore Geology Reviews. 2016. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032.

## Стадийность гидротермально-метасоматических и метаморфических изменений пород в пределах минерализованной зоны Северная, Светловское рудное поле, Бодайбинский рудный район

О.А.АРТЕМОВА (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

В работе описана последовательность метаморфических и гидротермально-метасоматических преобразований пород минерализованной зоны «Северная», определенная на основании изучения минералогического состава и результатов петрографического анализа пород, с учетом структурного положения зоны. Подтверждено четыре основных этапа формирования вещественного комплекса Светловского рудного поля, который включает временной интервал с позднего рифея до конца раннего карбона.

*Ключевые слова:* Светловское рудное поле, минерализованная зона Северная, хомолхинская свита, углеродистые карбонатно-терригенные породы, гидротермально-метасоматические преобразования, золото, железомagneзиальный карбонатный метасоматоз, сульфидизация.

Артемова Ольга Александровна



kb.artemova@gmail.com

## Stages of hydrothermal metasomatic and metamorphic alterations of rocks within Severnaya mineralized zone, Svetlovsky ore field, Bodaibinsky ore district

O.A.ARTEMOVA

The sequence of metamorphic and hydrothermal-metasomatic alterations of rocks from Severnaya mineralized zone is described. It was proved during the study of the mineralogical composition and the results of the petrographic analysis of rocks, taking into account the structural position of the zone. There are four main stages of Svetlovsky ore field mineral complex formation, covering the time interval from the Late Riphean to the end of the Early Carboniferous.

*Key words:* Svetlovsky ore field, Severnaya mineralized zone, Homolhinskaya suite, carbonaceous clastic-carbonate rocks, hydrothermal-metasomatic alterations, gold, iron-magnesian carbonate metasomatism, sulfidization.

Золоторудная минерализованная зона Северная расположена на водоразделе руч. Спектральный-р. Большая Тунгуска и имеет протяженность около 6 км при ширине 200–800 м. Зона входит в состав Светловского рудного поля, расположенного на крайнем юго-восточном окончании Маракано-Тунгусской синклинали второго порядка, которая, в свою очередь, является частью Мамско-Бодайбинского синклинория. Пликативные структуры в пределах площади имеют южную vergentность и субширотную ориентировку, представлены сложными сильно сжатыми запрокинутыми складками четвертого и более высоких порядков. Также в районе широко распространены продольные по отношению к линейным складкам взбросы, надвиги и сбросы отставания, секущие сдвиги и сбросы. Наиболее крупные продольные разломы трассируются зонами жильно-прожилкового окварцевания [2]. Минера-

лизованная зона Северная в структурном отношении приурочена к запрокинутому крылу антиклинали 4-го порядка.

Минерализованная зона Северная локализована в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных породах хомолхинской свиты верхнего рифея, метаморфизованных в условиях биотитовой субфации зеленосланцевой фации, с наложенными на них впоследствии гидротермально-метасоматическими процессами.

В составе пород хомолхинской свиты выделяются углеродистые кварцево-серицитовые сланцы алевролитовые, алевропелитовые и преимущественно кварцевые метапесчаники. Реже наблюдаются известковистые разности сланцев и метапесчаники с карбонатным цементом. Особенность разреза свиты – тонкое ритмичное переслаивание метапесчаников, алевролитовых и пелитовых сланцев, причем часто один из компонентов

ритма является преобладающим. Мощности ритмов от первых сантиметров до одного метра.

Основными признаками минерализованной зоны являются: вкрапленность сульфидов (пирротина и пирита, реже арсенопирита), проявление процессов мусковитизации, развитие нескольких генераций железомagneзиальных карбонатов, жильно-прожилковое золотоносное окварцевание (позднеметаморфические и постметаморфические жилы и прожилки с железомagneзиальными карбонатами, сульфидами).

Для петрографического анализа использовались как опубликованные материалы, так и данные, собранные автором в ходе полевых и камеральных работ (документация керн поисковых скважин, описание прозрачных и полированных шлифов) в составе полевой партии ФГУП ЦНИГРИ при выполнении государственного контракта на поиски рудного золота в 2014–2015 гг.

Алевролитовые сланцы представляют собой темно-серые до черных породы с гранолепидобластовой структурой и сланцеватой текстурой. Их главные минералы – мусковит (объемная доля 30–50%) и кварц (объемная доля 25–40%); также присутствуют железомagneзиальные карбонаты, представленные преимущественно анкеритом, реже – сидеритом. Массовое содержание их варьирует в широких пределах: от <5 до 10–15%, редко до 25%. В известковистых разностях появляется и кальцит, а общее число карбонатов может достигать 50%. Из аксессуарных минералов присутствуют ильменит (часто лейкоксенизированный), рутил, сфен, хлорит. Рудные минералы представлены пирротинном и пиритом.

Пелитовые сланцы схожи по составу с алевролитовыми разностями.

Метапесчаники серые и темно-серые, с лепидогранобластовой и гранобластовой структурой, неявно выраженной сланцеватой текстурой. Главные минералы представлены кварцем (объемная доля 50–80%), мусковитом и местами биотитом (объемная доля слюд до 30%); массовое содержание железомagneзиальных карбонатов от 1 до 15%. Во второстепенных минералах наблюдается кислый плагиоклаз (альбит). Среди аксессуарных минералов отмечены ильменит, рутил, сфен, турмалин, редко циркон. Рудные минералы: пирротин, пирит, реже – арсенопирит и золото.

В песчаниках и сланцах кварц представлен двумя генерациями: метаморфогенный и новообразованный гидротермально-метасоматический. Кварц первой генерации образует зерна вытянутой формы (соотношение 1:5–8) с облачным угасанием, в некоторых из них наблюдаются включения игольчатого рутила. Часто отмечаются заливки, сконцентрированные у одного из вытянутых концов зерен. Кварц второй генерации представляет собой преимущественно плохо оформленные кристаллы и зерна, слагающие «тени давления» порфиробластов ильменита и железомagneзиальных карбонатов (рис. 1), также им заполнены «глазки» в ситовидной

структуре порфиробластов ильменита. Новообразованным кварцем выполнены прожилки с сульфидной минерализацией.

Мусковит в породах представлен двумя генерациями, первая – мелкие листочки, ориентированные по сланцеватости, размер которых в метапесчаниках достигает 0,1–0,3 мм, в сланцах не превышает 0,1 мм. Вторая – крупные (до 0,4 мм) листочки, в основном расположенные под углом к сланцеватости. Местами мусковит второй генерации, совместно с новообразованным кварцем, выполняет «тени давления» порфиробластов железомagneзиальных карбонатов и ильменита. Также этот мусковит отмечается в призальбандовых частях постметаморфических кварцевых прожилков.

Порфиробласты ильменита наблюдались в большинстве шлифов метапесчаников и сланцев, размер вкрапленников 0,2–1,0 мм, в некоторых шлифах до 2,0 мм. Ориентированы порфиробласты как параллельно сланцеватости, так и под углом до 45°–50° к сланцеватости, со следами вращения (рис. 2). Ильменит замещен сфеном или рутилом, местами лейкоксенизирован. Порфиробласты часто имеют ситовидную структуру, «ячейки» которой заполнены кварцем и мусковитом. Также местами у ильменита отмечаются «тени давления», выполненные кварцем второй генерации.

Порфиробласты и ксенобласты железомagneзиальных карбонатов как в метапесчаниках, так и в сланцах, в основном имеют неправильную слабоудлиненную форму, часто интенсивно корродированы. При этом периферические части нередко перекристаллизованы. Некоторые предшественники отмечали, что обильной

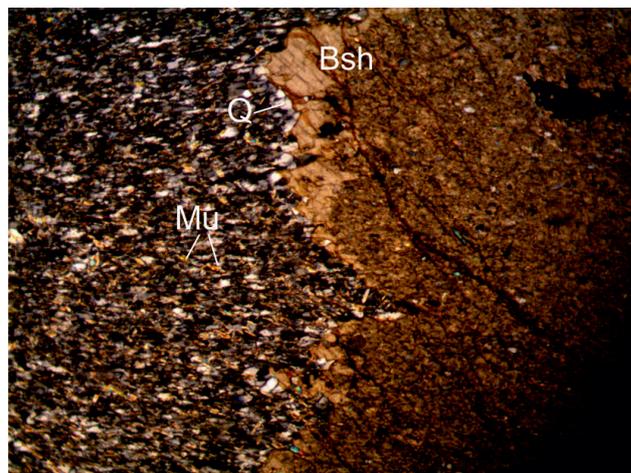


Рис. 1. Кварц-мусковитовый алевропелитовый сланец с частично перекристаллизованными порфиробластами железомagneзиальных карбонатов с тенями давления, выполненными кварцем:

Bsh – железомagneзиальный карбонат (бурый шпат); Q – кварц, Mu – мусковит; увеличение 10; николи +

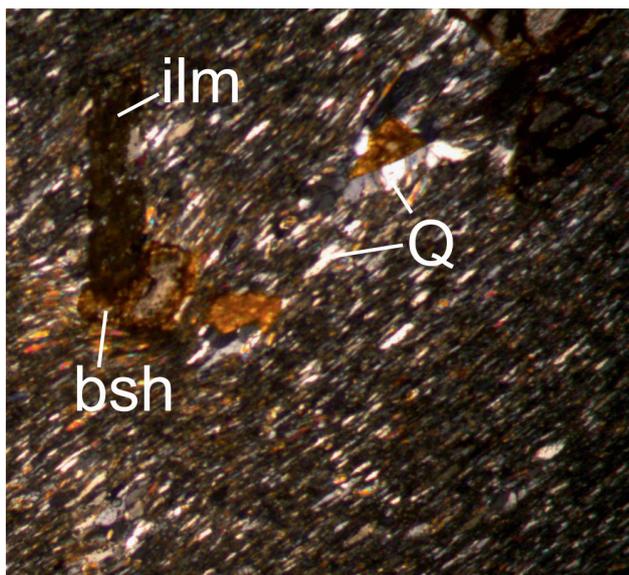


Рис. 2. Порфиробласты ильменита со следами вращения и постметаморфические железомagneзиальные карбонаты ромбоэдрической формы в кварц-мусковитовом алевропелитовом сланце:

bsh – железомagneзиальный карбонат (бурый шпат), Q – кварц; ilm – ильменит; увеличение 10; николи +

вторичной железомagneзиальной карбонатизации, часто равномерной, подвергаются породы всех комплексов, независимо от содержания седиментогенных карбонатов. Развивающиеся порфиробласты карбонатов приобретают s-образные структуры, свидетельствующие о формировании карбонатных минералов во время складчатых деформаций (Э.В.Лешкевич и др., 1979). Размеры порфиробластов и ксенобластов преимущественно от 0,3 мм до 3 мм, реже крупнее. В некоторых шлифах, наряду с крупной, встречается вкрапленность, не превышающая десятой доли миллиметра. Преимущественно в сланцах у железомagneзиальных карбонатов отмечаются «тени давления» и следы вращения, выполненные новообразованными кварцем и мусковитом второй генерации (см. рис. 1). Однако в единичных шлифах наблюдаются железомagneзиальные карбонаты ромбоэдрической формы без «теней давления», образовавшиеся после вращения порфиробластов ильменита (см. рис. 2).

Пирротин представлен линзовидными выделениями неправильной формы, обычно с раздувами, заливами. В нем отмечаются включения кварца, анкерита, мусковита. Линзочки пирротина ориентированы по сланцеватости, местами встречаются пирротиновые прожилки, смятые в запрокинутые или пloyчатые складки. Пирит кубический и скрытокристаллический, нередко развивается по пирротину (рис. 3), также наблюдается

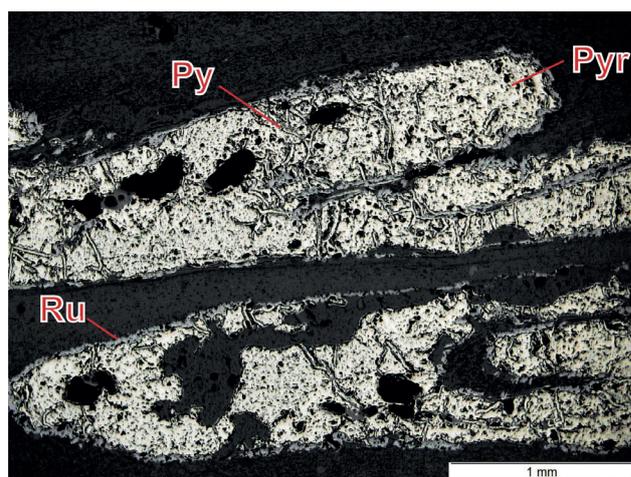


Рис. 3. Прожилок, деформированный в зоне пloyчатой складчатости, сложенный пирротинном с развитым по нему пиритом и окаймленным агрегатом рутила и сфена. Полированный шлиф:

Py – пирит; Pyg – пирротин; Ru – агрегат рутила и сфена

и моносulfидная пиритовая вкрапленность. Арсенопирит отмечается редко и представлен выделениями неправильной формы, развитыми в основном по пириту (рис. 4).

Золото мелкое, свободное, заключено преимущественно в sulfидах (см. рисунки 4 и 5), также нередко в сростании с кварцем.

Изложенный материал по минерализованной зоне Северная позволяет автору согласиться с установленной ранее [1, 2] последовательностью метаморфических и гидротермально-метасоматических преобразований, предложенной для Тунгусского рудного узла:

*Первый этап.* В рифее–венде осадконакопление происходило в обстановке континентального склона в относительно глубокой части морского бассейна, чем и обусловлена повышенная углеродистость большинства пород [2].

*Второй этап.* Начиная с раннего кембрия, после замыкания морского бассейна, в коллизионной обстановке произошло образование линейной складчатости, завершившееся в конце раннего силура. Эволюция линейного складкообразования сопровождалась образованием кливажа осевой поверхности и привела к формированию, в первую очередь, зон рассланцевания – наиболее проницаемых для флюидов и гидротерм линейных структур. Несколько позже произошли хрупко-пластичные деформации. На данном этапе в поздне-складчатых зонах рассланцевания формировались рудоносные железомagneзиально-карбонатные метасоматиты. Этап линейного складкообразования завершился длительным периодом орогенеза.

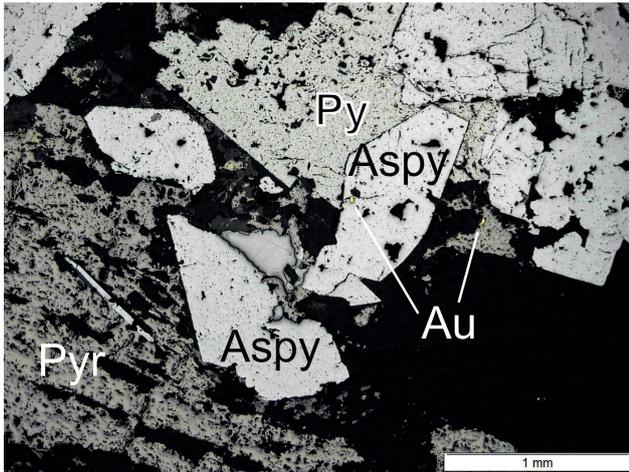


Рис. 4. Агрегат рудных минералов в кварц-карбонатном прожилке. Полированный шлиф:

Py – пирит; Pyr – пирротин; Aspy – арсенопирит; Au – самородное золото

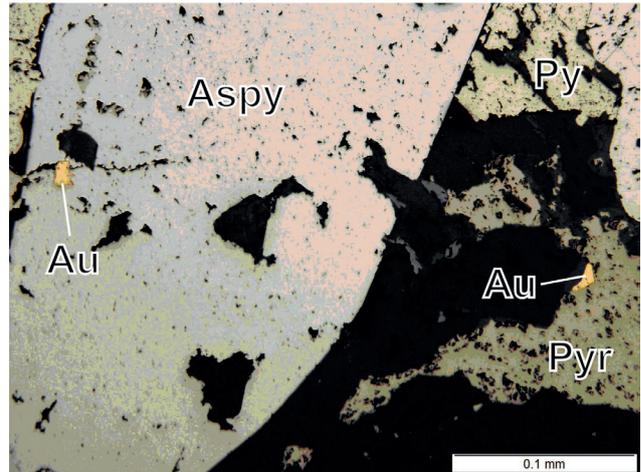


Рис. 5. Самородное золото в сульфидах. Полированный шлиф:

см. услов. обозн. к рис. 4

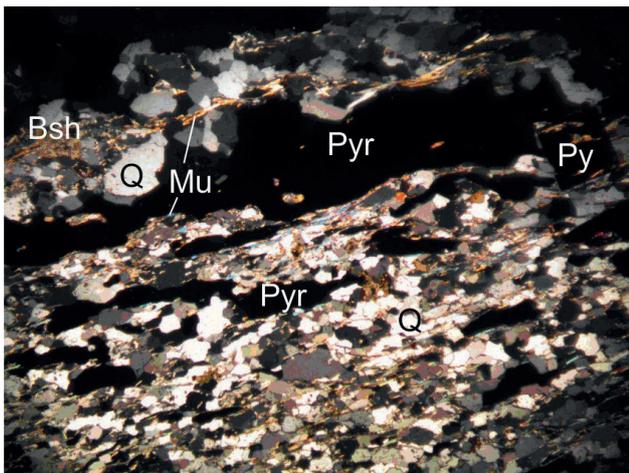


Рис. 6. Метапесчаник окварцованный с кварц-сульфидным прожилком и новообразованными железомagneзиальными карбонатами в призальбандовых частях:

Bsh – железомagneзиальный карбонат (бурый шпат); Q – кварц; Mu – мусковит; Pyr – пирротин; Py – пирит; увеличение 4; николи +

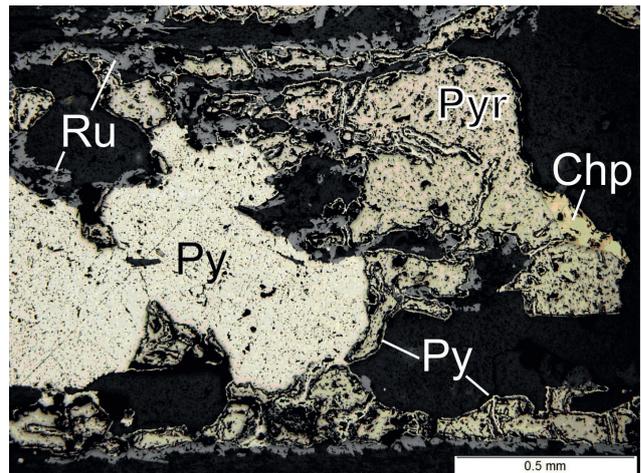


Рис. 7. Агрегат рутила и сфена, развитого по пирротину и замещающему его пириту в кварцевом прожилке. Полированный шлиф:

Py – пирит; Pyr – пирротин, Ru – агрегат рутила и сфена; Chp – халькопирит

*Третий этап.* С позднего силура и до конца раннего девона на этапе регионального метаморфизма происходило преобразование алевролитовых и пелитовых сланцев и метапесчаников. Породы метаморфизовались в условиях биотитовой субфации зеленосланцевой фации. Произошедшая в этот период активизация зон рассланцевания, включающая и минерализованную зону Северная, была обусловлена воздействием флюидов

формировавшихся гранитогнейсовых куполов. В результате повысилась интенсивность метаморфических процессов, приведшая к смещению на северо-запад изоград биотита и граната. Также в зонах рассланцевания происходило высвобождение, укрупнение и частичное перераспределение золота при преобразовании железомagneзиальных карбонатов и сульфидов [2]. Активизация зон рассланцевания, к которым приучена минерализованная

зона Северная, фиксируется изменением ориентировки порфиробластов ильменита под углом  $40^{\circ}$ – $50^{\circ}$  к плоско-сти рассланцевания со следами вращения (см. рис. 2), «скруглением» порфиробластов железомagneзиальных карбонатов, а также образованием «теней давления» у порфиробластов и ксенобластов, выполненных перераспределенным при рассланцевании кварцем.

*Четвертый этап.* Время со среднего девона до конца раннего карбона являлось завершающим этапом орогенеза. В этот период на территории Мамско-Бодайбинского синклинория происходило внедрение гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса и связанная с ними активизация зон рассланцевания, сопровождавшаяся низкотемпературными гидротермально-метасоматическими преобразованиями (диафорез). На площади минерализованной зоны Северная в это время происходило подновление зон рассланцевания и миграция сингранитных флюидов. При этом проявились следующие гидротермально-метасоматические процессы: а) мусковитизация (образование мусковита второй генерации); б) неполное замещение порфиробластов ильменита агрегатом сфена, рутила и кварца, в результате чего порфиробласты приобрели ситовидную структуру. Железомagneзиальные карбонаты в этот период претерпели частичную (по периферии) перекристаллизацию (см. рис. 1). Местами ранее сформированные порфиробласты карбонатов испытывали деформацию, также

происходило формирование новообразованных железомagneзиальных карбонатов [1]. Новообразованные порфиробласты ромбоэдрической формы, не рассланцеваны (см. рис. 2). Одновременно протекал процесс сульфидизации пород с образованием пирита и арсенопирита.

Также на этом этапе происходило образование золотоносных кварцевых прожилков с железомagneзиальными карбонатами и рудными минералами. Данные прожилки местами пересекают ранние порфиробласты железомagneзиальных карбонатов и сопровождаются образованием новых порфиробластов вблизи зальбандов (рис. 6). Для прожилков, преимущественно в при-зальбандовых частях, характерно развитие крупных листочков мусковита, выделений рутила и сфена (рис. 7). В конце четвертого этапа отдельные чешуи мусковита были замещены хлоритом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
2. *Иванов А.И., Агеев Ю.Л.* Геологическое строение и золотоносность Светловского рудного поля (Бодайбинский рудный район) // Известия Сибирского отделения секции Наук о Земле РАЕН. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. Вып. 2 (35). С. 18–27.

## Литологические, минералогические и петрохимические особенности песчаников верхневендско-нижнекембрийской енганэпейской свиты (хр.Енганэ-Пэ, Полярный Урал)

Н.Ю.НИКУЛОВА, Л.А.ШМЕЛЁВА, С.И.ИСАЕНКО (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН; 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54)

Представлены результаты изучения состава пород енганэпейской ( $V_2$ - $\epsilon_1 en$ ) свиты в зоне межформационного контакта уралид/доуралид в южной части кряжа Енганэ-Пэ. На основе данных о химическом составе пород установлено, что формирование отложений енганэпейской свиты проходило в условиях застойного мелководного бассейна в присутствии органического вещества. Периоды незначительного углубления бассейна сопровождалось образованием глинисто-карбонатных железомарганцевых конкреций. Состав пород енганэпейской свиты формировался преимущественно за счет рециклированного обломочного материала высокой степени зрелости, образованного в условиях континента с развитой корой выветривания.

*Ключевые слова:* алевролиты, аргиллиты, химический состав, обломочный материал, условия осадконакопления.

Никулова Наталия Юрьевна  
Шмелёва Любовь Алексеевна  
Исаенко Сергей Иванович



nikilova@geo.komisc.ru  
lyubov.shmeleva@inbox.ru  
isaenko@geo.komisc.ru

## Lithological, mineralogical, and petrochemical features of sandstones from the Upper Vendian-Lower Cambrian Enganepean Formation (the Engane-Pe uplift, the Polar Urals)

N.Yu.NIKULOVA, L.A.SHMELEVA, S.I.ISAENKO

The results of study into the composition of rocks from the Enganepe Formation ( $V_2$ - $\epsilon_1 en$ ) in the Uralides/Pre-Uralides contact zone in the southern part of the Engane-Pe uplift are summarized in the article. On the basis of data on the chemical composition of the rocks it was established that the deposition of sediments of the Enganepe Formation occurred in a stagnant shallow pool in the presence of organic matter. Periods of slight deepening were accompanied by accumulation of clay-carbonate iron-manganese nodules in the basin. Sediments of the Enganepe Formation were formed mainly by recycled mature clastic material deposited in a continental setting with well-developed crust of weathering.

*Key words:* siltstones, mudstones, chemical composition, clastic material, conditions of sedimentation.

На южном окончании кряжа Енганэ-Пэ, в западной части Полярного Урала в 20 км к юго-востоку от г. Воркута (рис. 1, А) расположен разрез, вскрывающий зону контакта поздневендско-раннекембрийской енганэпейской свиты ( $V_2$ - $\epsilon_1 en$ ) и залегающей на них с угловым и стратиграфическим несогласием позднекембрийско-нижнеордовикской манитанырдской серии ( $\epsilon_3$ - $O_1 mn$ ). Палеозойская часть разреза, содержащая в основании толщи субсогласное тело ультракалийевых базальтоидов, в настоящее время достаточно хорошо изучена [3-5, 7-9, 14]. Вопросы строения, состава и стратиграфической принадлежности енганэпейской свиты были рассмотрены в ряде фондовых отчетов по

результатам геологосъемочных и опытно-методических работ и публикаций в открытой печати [3, 8]. Стратиграфическое положение и возраст отложений енганэпейской свиты, представленной терригенной толщей мелководно-морских фаций, был определен на основе микростратиграфии венда (П.Е.Попов и др., 2005). Абсолютный возраст енганэпейской свиты, перекрывающей ее манитанырдской серии и их структурно-тектоническое положение, установлены по результатам изучения детритных цирконов [5, 9, 20].

Особенности вещественного состава отложений енганэпейской свиты вызвали интерес авторов в связи с тем, что они составляют значительную часть области

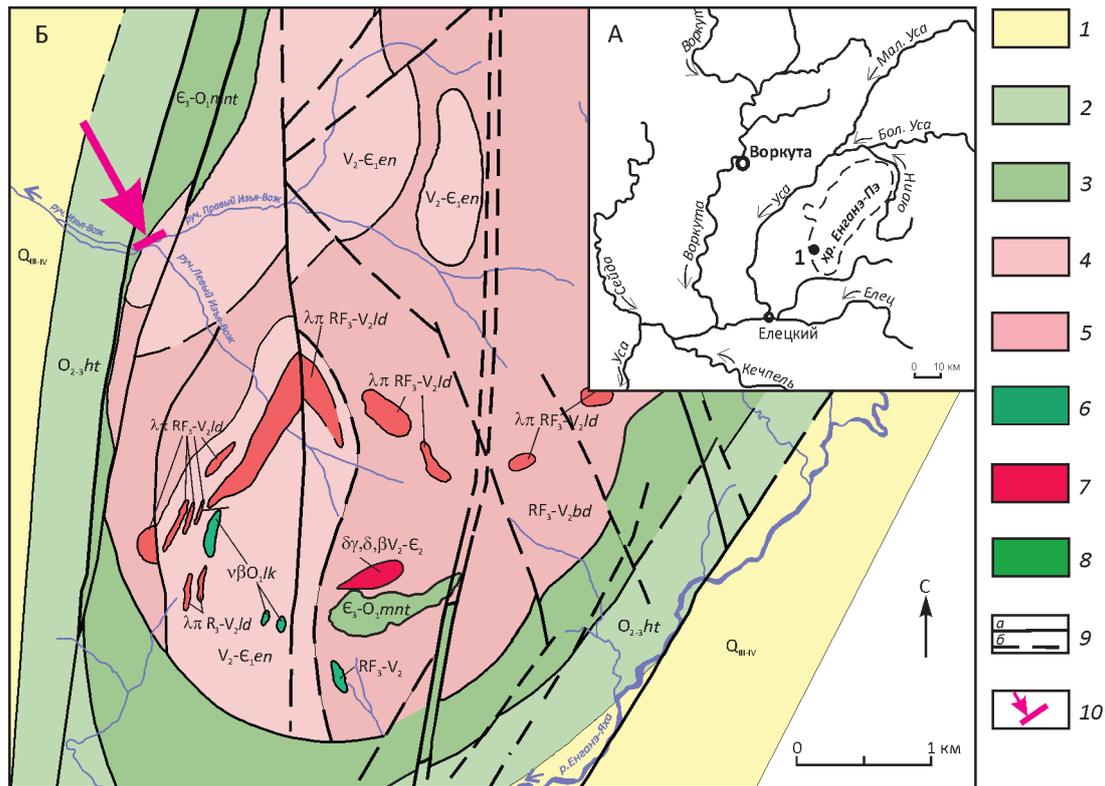


Рис. 1. Схема расположения (А) изученного разреза (1) и схематическая геологическая карта (Б) южной части хр. Енганэ-Пэ (Л.И.Ефанова, 2009):

1 – верхнечетвертичные-современные отложения: глыбы, щебень, дресва, галечники, пески, супеси, суглинки; 2 – хантейская свита: известняки песчаные и глинистые с прослоями углистых сланцев и алевролитов, доломитов и доломитизированных известняков; 3 – манитаньрдская серия нерасчлененная: конгломераты, гравелиты, кварцитопесчаники, алевролиты, покровы эффузивов базальт-риолитовой формации; 4 – енганэпейская свита: переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников, реже – гравелитов; 5 – бедамельская серия: эффузивы основного, среднего, кислого составов, их туфы, линзы известняков; 6 – экструзивно-субвулканические образования нижней толщи бедамельской серии: габбро, габбро-долериты; 7 – кызыгейский комплекс габбро-диоритовый: диориты, гранодиориты, плагиограниты; 8 – леквожский комплекс: оливининовые габбро и долериты, пикродолериты; 9 – разрывные нарушения: а – достоверные по геологическим данным, б – предполагаемые; 10 – разрез зоны межформационного контакта на руч. Изъявож

питания и являются важным источником обломочного материала для нижнепалеозойских терригенных толщ. При полевом описании разреза зоны межформационного контакта уралид/доуралид на руч. Изъявож, в южной части хр. Енганэ-Пэ, примерно в 76 м от контакта отложений енганэпейской свиты и нижнепалеозойской манитаньрдской серии, был обнаружен ранее в енганэпейской свите не описанный слой, содержащий значительное количество глинисто-карбонатных конкреций. Поскольку химико-минеральный состав и структурно-текстурные особенности конкреций почти не изменяются в катагенезе и даже метагенезе, что позволяет использовать их для восстановления условий осадконакопления и геохимической обстановки диагенеза, изучению конкреций и вмещающих их отложений было уделено особое внимание.

Актуальность проведенных исследований определяется отсутствием информации о важном для палеогеографических построений объекте – глинисто-карбонатных конкрециях и особенностях вещественного состава вмещающей их толщи, позволяющей установить физико-географические и палеотектонические условия осадконакопления, выявить характер и последовательность постседиментационных преобразований, проводить корреляцию разрезов однообразно построенной толщи. Кроме того, выявление специфических особенностей состава пород енганэпейской свиты имеет значение для палеогеографических реконструкций при изучении нижнепалеозойских отложений, их необходимо учитывать при металлогеническом прогнозировании.

**Геологическое строение южной части кряжа Енганэ-Пэ.** В геологическом строении южной части

кряжа Енганэ-Пэ принимают участие породы двух структурных этажей – рифей-вендского (доуралиды) и нижнепалеозойского (уралиды), разделенные угловым, стратиграфическим и азимутальным несогласиями (см. рис. 1, Б). Современный кряж Енганэ-Пэ совпадает с антиклинальной структурой северо-восточной ориентировки протяженностью около 60 и шириной около 20 км, в ядре которой вскрываются отложения манику-яхинской ( $RF_3mj$ ), бедамельской ( $RF_3-V_2bd$ ) и енганэпейской ( $V_2-C_1en$ ) свит.

Енганэпейская свита ( $V_2-C_1en$ ) представлена толщей ритмичного переслаивания аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых (алевритуистых) песчаников. Мощность ритмов от 0,2 до 1,0 м, составляющих их слоев – от нескольких сантиметров до 0,5 м. Общая мощность свиты на кряже Енганэ-Пэ составляет 1200–1500 м. Примерно в 75–76 м от межформационного контакта расположен слой алевролита мощностью до 1 м, содержащий многочисленные конкреционные образования, имеющие в разрезе овальную форму и вытянутые длинной осью согласно напластованию толщи. По данным геологической съемки масштаба 1:200 000 (П.Е.Попов и др., 2005), в верхах енганэпейской свиты присутствуют редкие прослои и линзы глинистых известняков с остатками микроорганики, а в нижней части разреза – прослои туфопесчаников и туфосланцев. Прослоев известняков в изученном авторами 100-метровом интервале обнаружено не было. Авторы полагают, что часть или все образования, считавшиеся «линзами» известняков, являются конкрециями. Контакт пород фундамента и отложений манитанырдской серии ( $C_3-O_1mn$ ) выражен стратиграфическим, угловым и азимутальным несогласиями. Азимут падения пород енганэпейской свиты  $130^\circ$ , угол падения  $75^\circ$ , а перекрывающих их отложений манитанырдской серии, соответственно,  $315^\circ$  и  $35^\circ$ . Нижняя часть разреза манитанырдской серии представлена слоем средне-, мелкогалечных очень прочных конгломератов мощностью 1,0–1,1 м. Конгломераты перекрываются песчано-алевролитовой тощей, в нескольких метрах от подошвы которой залегает пластообразное тело базальтоидов. Верхняя часть разреза манитанырдской серии сложена монотонной толщей розовато-серых кварцитопесчаников с горизонтальной, линзовидной и косою слоистостью (рис. 2, А).

**Объекты и методы исследования.** Объект исследования – отложения енганэпейской свиты ( $V_2-C_1en$ ) в зоне межформационного контакта уралид/доуралид. Особое внимание было уделено изучению конкреций, встречаемых в слое алевролитов в 76–77 м от межформационного контакта. Конкреции залегают «цепочкой» на расстоянии от 0,2 до 0,5 м друг от друга и образуют так называемый «конкреционный горизонт» (см. рис. 2, Б). Конкреционные тела овальной двояковыпуклой формы. Размер конкреций 30–70 см по длинной оси, толщина до 0,2 м, встречена конкреция размером  $130 \times 70$  см (см. рис. 2, В).

Петрографический состав пород изучался в прозрачных шлифах. Содержания породообразующих оксидов определялись традиционным весовым химическим методом. Выделенная по стандартной методике (дробление, разделение на фракции) тяжелая фракция протолочных проб просматривалась под биноклем. Микронзондовый анализ и фотографирование пиритов проводились на сканирующем электронном микроскопе JSM–6400 с энергетическим спектрометром Link (оператор В.Н.Филиппов) и рамановском спектрометре HR 800 фирмы Horiba. При интерпретации результатов химических анализов использованы несколько известных методик, позволяющих провести классификацию пород по химическому составу, сделать выводы о составе источников терригенного материала, палеоклиматических условиях в области размыва и палеогеодинамической обстановке накопления отложений [11–13, 15–24].

**Литолого-геохимическая характеристика отложений енганэпейской свиты.** Подробное описание литологических типов пород – аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых песчаников, слагающих разрез енганэпейской свиты на руч. Изъявож, сделано авторами ранее [7]. Обнаруженные в нескольких образцах алевролитов енганэпейской свиты обломки вулканического стекла указывают на существование во время накопления толщи действующего вулканического очага. Для характеристики особенностей вещественного состава были рассчитаны традиционно применяемые для палеогеографических целей индикаторные соотношения (табл. 1). Фигуративные точки на диаграмме  $\log(Fe_2O_3 / K_2O) - \log(SiO_2 / Al_2O_3)$  [19] попали в поля глинистых сланцев и вакков на границе с глинистыми сланцами (рис. 3, А). На диаграмме НКМ–ФМ<sup>1</sup> все фигуративные точки составов отложений енганэпейской свиты находятся в поле V, соответствующем хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистым глинам (см. рис. 3, Б).

Индекс химического выветривания CIA<sup>2</sup> – показатель климата в области размыва [22, 23], изменяется от 60 до 76. Минимальные значения индекса CIA, характерные для отложений, сформированных в условиях относительно холодного климата, соответствуют трем образцам из слоя, залегающего над конкреционным горизонтом. Значения CIA большинства изученных образцов 72–76 свидетельствуют о существовании в области размыва гумидного климата.

Индекс выветривания CIW<sup>3</sup>, отражающий степень выветрелости обломочного материала [18], составляет 82–88 для пород конкреционного горизонта и подстилающих отложений, 74–76 – для пород, залегающих

<sup>1</sup> НКМ=( $Na_2O+K_2O$ )/ $Al_2O_3$ ; ФМ= $(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$

<sup>2</sup> CIA= $100 * Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$  – молекулярные количества

<sup>3</sup> CIW= $100 * Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$

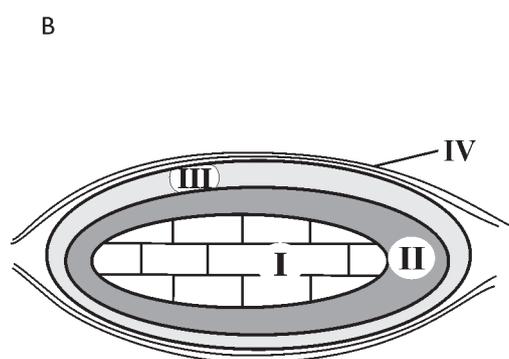
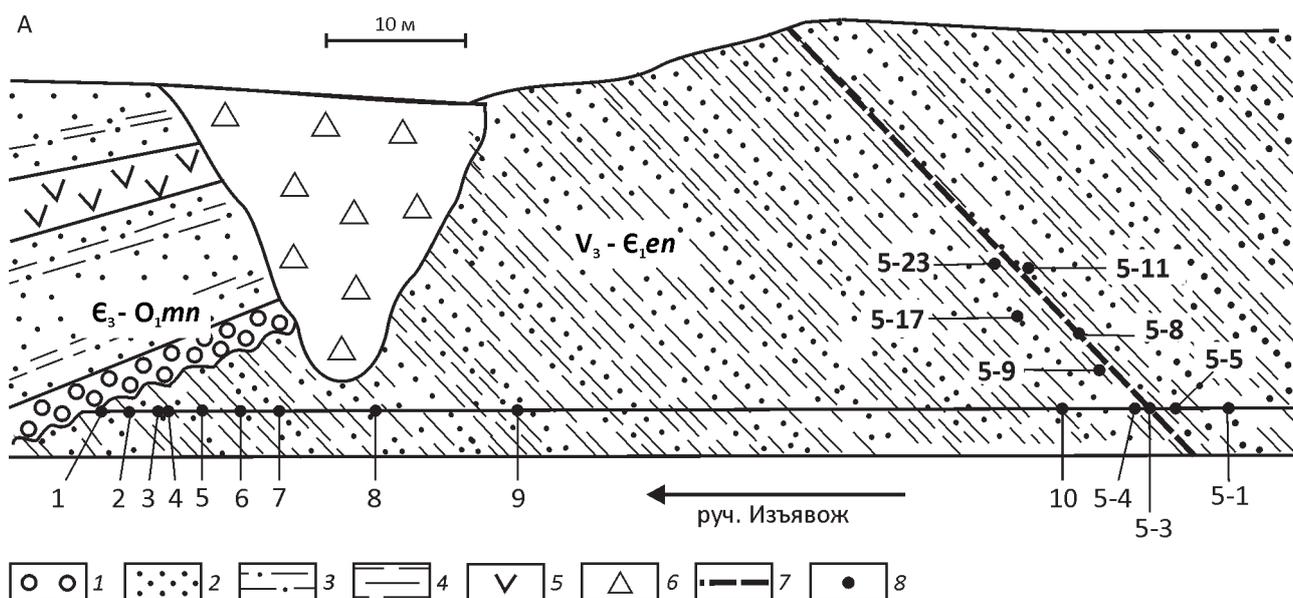


Рис. 2. Схема строения и опробования разреза на руч. Изъявож (А), цепочка конкреций в отложениях энганэпейской свиты (Б) и строение типичной конкреции (В):

1 – конгломераты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – аргиллиты; 5 – базальтоиды; 6 – делювиальные развалы; 7 – конкреционный горизонт; 8 – точки отбора образцов; I – ядро; II – глинисто-карбонатная тонкослоистая порода; III – кальцитовая корочка; IV – контакт с вмещающими породами

непосредственно выше данного горизонта и 90–98 – для верхней части разреза свиты. При этом максимальные значения индекса (95–98) соответствуют верхнему интервалу разреза (обр. 1–3), что указывает на развитие в области размыва коры выветривания. Индекс изменения состава ICV [17] указывает на исключительно высокую зрелость обломочного материала.

Минимальные значения соотношения Fe/Mn < 15, используемого в качестве фациального индикатора для

осадочных отложений [11], соответствуют сформированным в относительно глубоководных условиях породам конкреционного горизонта. Для перекрывающих и подстилающих конкреционный горизонт отложений это соотношение находится в интервале 35–45. Для основной части разреза энганэпейской свиты значение фациального индикатора составляет 60–81, а их формирование проходило в мелководных и близких к мелководным условиям. Прямым свидетельством мелководности бас-

1. Содержание породобразующих оксидов (в мас. %) и их индикаторные соотношения

Компоненты и соотношения	Образцы																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5-1	5-3	5-4	5-5	5-9	5-8	5-11	5-17	5-23
SiO <sub>2</sub>	59,12	62,50	58,88	60,02	60,04	57,82	62,06	62,04	60,76	62,00	54,78	56,84	53,01	57,78	57,73	55,18	54,58	60,02	62,02
TiO <sub>2</sub>	1,01	0,81	1,02	0,86	1,10	0,98	0,97	0,85	0,84	0,87	0,79	0,82	0,77	0,77	0,65	0,57	0,77	0,63	0,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,12	18,72	19,76	20,20	18,73	20,19	19,02	18,54	19,10	18,20	21,75	19,74	23,84	20,64	22,34	21,62	21,41	21,05	17,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,27	2,14	2,14	2,05	2,14	2,43	1,82	2,71	2,79	3,19	1,90	3,24	1,98	2,60	1,88	1,19	2,46	0,67	1,57
FeO	4,44	4,29	4,94	4,39	5,01	4,25	3,59	3,41	3,59	2,86	4,31	2,75	3,59	3,24	2,97	3,25	1,92	3,08	3,06
MnO	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,02	0,09	0,05	0,09	0,23	0,08	0,07	0,04	0,04	0,18
MgO	2,68	2,36	2,83	2,51	2,91	2,51	2,37	2,13	2,28	1,91	5,28	2,08	5,20	3,05	4,58	2,43	1,45	4,12	3,28
CaO	0,30	0,30	0,40	0,40	0,55	0,67	0,40	0,30	0,30	0,33	0,37	1,83	0,20	0,99	0,22	2,91	3,34	0,36	2,12
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,19	0,40	0,86	0,93	1,16	0,80	1,24	1,28	2,38	2,08	2,01	2,01	2,46	2,02	2,16	2,05	1,99	2,46
K <sub>2</sub> O	4,99	4,37	4,71	4,24	3,87	4,28	4,36	3,89	3,94	3,15	3,05	3,55	3,60	2,96	3,47	3,72	4,18	3,39	2,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,09	0,13	0,09	0,29	0,11	0,10	0,07	0,09	0,07	0,05	1,16	0,05	0,37	0,05	1,54	2,44	0,05	0,20
ППП	4,87	4,52	4,89	4,63	4,68	5,31	4,80	5,15	5,10	4,86	5,60	5,93	5,72	4,90	4,06	5,38	5,37	4,66	4,98
Сумма	100,16	100,34	100,17	100,32	100,32	99,77	100,33	100,37	100,12	99,84	100,05	100,00	100,06	99,99	100,05	100,02	100,01	100,06	99,99
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	5,17	4,56	5,11	5,10	4,80	5,44	5,16	5,13	5,22	5,53	5,13	5,56	5,61	5,42	5,49	5,88	6,23	5,38	4,63
ГМ	0,47	0,42	0,47	0,46	0,45	0,48	0,41	0,41	0,43	0,41	0,53	0,47	0,57	0,48	0,48	0,48	0,49	0,42	0,37
log(Fe <sub>2</sub> O <sub>3,600</sub> /K <sub>2</sub> O)	-0,34	-0,31	-0,34	-0,32	-0,26	-0,25	-0,38	-0,16	-0,15	0,01	-0,23	-0,06	-0,70	-0,21	-0,04	-0,26	-0,27	-0,49	-0,29
log(SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,47	0,52	0,47	0,47	0,51	0,46	0,51	0,52	0,50	0,53	0,41	0,45	0,46	0,40	0,46	0,35	0,41	0,41	0,68
HKM	0,26	0,24	0,26	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,27	0,30	0,29	0,26	0,26	0,24	0,28	0,24	0,25	0,27	0,27
ФМ	0,16	0,14	0,17	0,15	0,17	0,16	0,13	0,13	0,14	0,13	0,11	0,16	0,13	0,21	0,14	0,20	0,16	0,13	0,13
ГМ	0,47	0,42	0,47	0,46	0,45	0,48	0,41	0,41	0,43	0,41	0,49	0,48	0,42	0,53	0,47	0,57	0,48	0,48	0,37
СИА	76,28	76,97	75,25	74,97	73,56	72,20	73,73	73,14	73,38	69,64	74,60	65,29	75,88	69,49	74,89	62,65	60,48	73,45	62,85
СІW	98,13	97,82	95,96	93,21	91,27	89,95	93,13	90,74	90,78	83,74	87,45	79,73	89,61	82,08	88,77	76,44	75,12	87,56	74,08
ICV	0,23	0,22	0,23	0,22	0,24	0,24	0,23	0,25	0,24	0,27	0,24	0,28	0,22	0,25	0,22	0,24	0,27	0,20	0,27
Fe/Mn	70,95	66,81	60,78	60,53	62,31	61,50	73,18	81,88	78,13	172,48	62,21	14,60	55,42	40,26	68,21	35,93	35,08	37,16	14,96
(Fe+Mn)/Ti	3,02	3,61	3,17	3,41	2,97	3,09	2,53	3,23	3,41	3,08	2,53	3,52	2,75	3,60	3,25	3,31	3,40	3,59	3,67
Al/(Al+Fe+Mn)	0,68	0,67	0,66	0,69	0,65	0,68	0,71	0,68	0,68	0,68	0,71	0,70	0,75	0,71	0,76	0,77	0,78	0,79	0,72
K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25	0,23	0,24	0,21	0,21	0,21	0,23	0,21	0,21	0,17	0,20	0,14	0,16	0,14	0,18	0,15	0,16	0,17	0,13

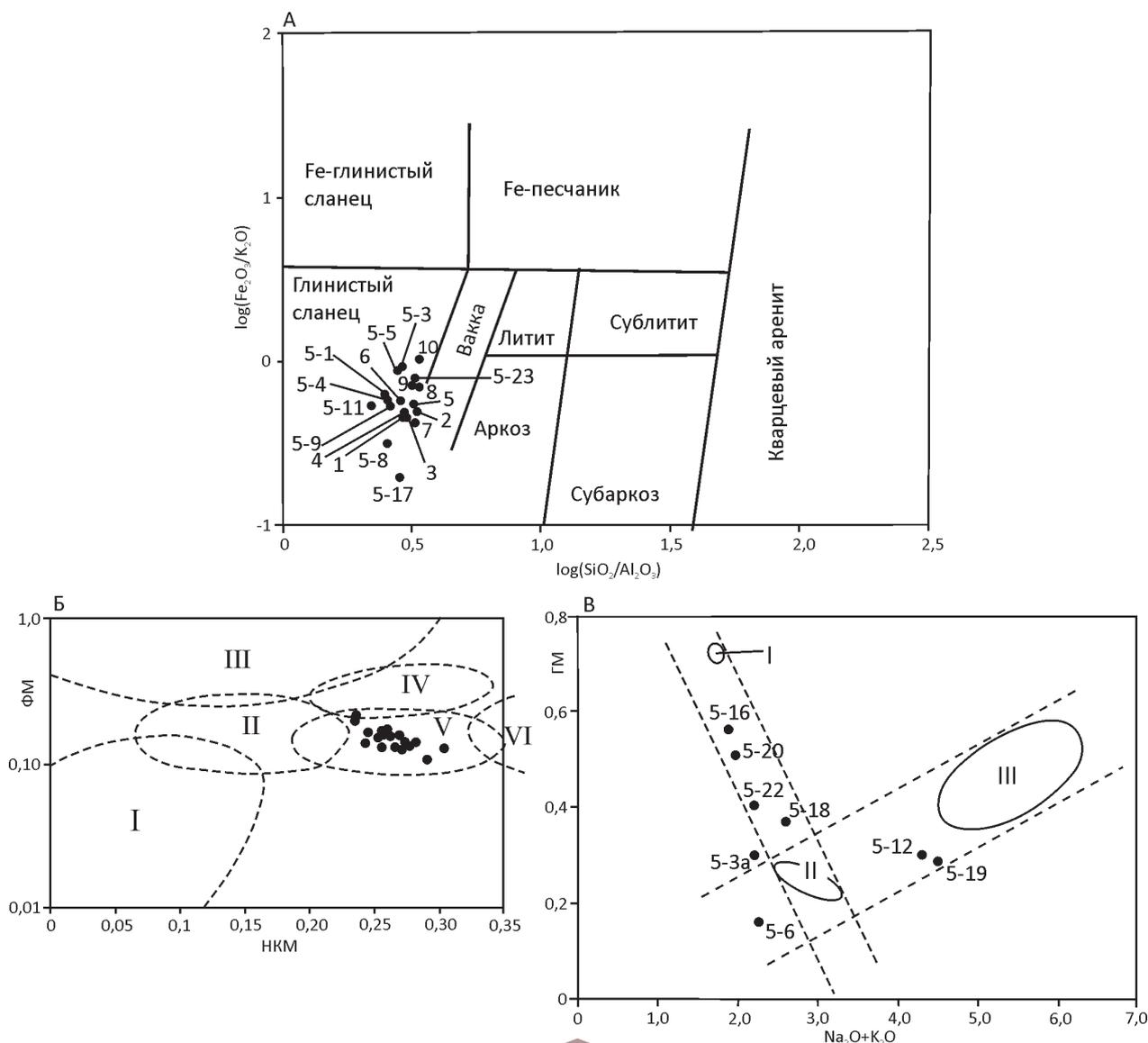


Рис. 3. Положение точек составов пород энганэпейской свиты на диаграммах:

А –  $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})-\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  (по работе [19]); Б – НКМ-ФМ и В –  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ -ГМ (по работе [13])

сейна являются отмечаемые всеми исследователями знаки ряби на поверхности напластования песчано-глинистых сланцев (П.Е.Попов и др., 2005).

Титановый  $(\text{Fe}+\text{Mn})/\text{Ti}$  [12] и алюминиевый  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$  [15] модули характеризуют породы как не содержащие примесь эксгалативного материала. Значения калиевого модуля  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  [16] не превышают порогового уровня 0,3 и соответствуют породам, сформированным за счет многократно переотложеного материала.

**Строение и состав конкреций.** Конкреции сложены темно-серой массивной глинисто-карбонатной породой. По характеру залегания конкреции относятся к раннедиагенетическому типу, отличительными при-

знаками которого являются: облекание сверху и снизу слоистостью, отсутствие видимой связи с трещиноватостью вмещающей породы, залегание согласно напластованию и связь с определенным горизонтом вмещающих пород [6]. Конкреции имеют зональное строение – ядро окружено коркой (1,0–1,5 см) темно-бурой тонкослоистой слабо сцементированной породы, которая на контакте с вмещающими породами оторочена светло-серой кальцитовой каймой толщиной около 2 см (см. рис. 2, В). Ядра конкреций сложены массивным глинистым известняком с обломками, напоминающими микрофауну, периферийные части – тонкослоистой глинисто-карбонатной породой. Порода периферийных частей конкреций разбита ориентированными

перпендикулярно слоистости трещинами сокращения, выполненными новообразованным кристаллическим карбонатом. На внешней поверхности конкреций шестоватые агрегаты кальцита образуют многослойную корочку. Данные о химическом составе конкреций приведены в табл. 2.

На модульной диаграмме, построенной в координатах  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{ГМ}^4$ , на которую нанесены составы пород энганэпейской свиты и конкреций, видно, что изученная совокупность проб распадается на три кластера и семь индивидуальных составов, не поддающихся усреднению в кластерах (см. рис. 3, В).

В *кластер I* вошли криптокристаллические глинисто-карбонатные породы из внутренних частей конкреций, аттестуемые как гипогидролизаты и отличающиеся максимальным значением гидролизатного модуля (0,72) и минимальным – суммы щелочей (1,73) (табл. 3).

В их составе преобладает кальцит (71,6%), второстепенные минералы представлены (в %): кислым (№ 9) плагиоклазом (9,2), хлоритом (5,1), ортоклазом (2,8), мусковитом (2,4), родохрозитом (2,0), магнезитом (1,4) и гематитом (1,1), аксессуарные – лейкоксоном (0,2) (см. табл. 3).

Глинистые алевролиты и агриллиты энганэпейской свиты кластера III отличаются наименьшим содержа-

нием кальцита (0,4%) и состоят (в %) из: кварца (41,4), мусковита (27,5), хлорита (18,4), плагиоклаза (5,1), хлорита (17,6), апатита (2,2), гематита (2,1), ортоклаза (1,1), лейкоксона (0,9). Нормативный гематит, количество которого повышено по сравнению с предыдущими кластерами, вероятно, является преимущественно пиритом, не рассчитанным из-за отсутствия данных о содержании серы.

Фазовый состав алевролита (обр. 6) был определен при помощи рентгенодифрактометрического анализа ориентированных образцов (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, излучение-CuK $\alpha$ , 30kV/20mA), подвергнутых стандартным диагностическим обработкам. Изучение дифрактограмм воздушно-сухого, обработанного глицерином и прокаленного при  $T$  550°C образца показало, что в составе глинистой фракции – диоктаэдрическая слюда (мусковит) и железистый хлорит. Мусковит диагностируется по серии базальных отражений с  $d/n \sim 10,16; 5,02; 3,36; 2,01 \text{ \AA}$ , хлорит – по серии интенсивных базальных отражений с  $d/n \sim 14,38; 7,22; 4,76; 3,56 \text{ \AA}$ . Диоктаэдрическая природа слюдястого минерала подтверждается величиной межплоскостного расстояния отражения 060~1,500 Å, хлоритовое отражение 060 имеет  $d/n \sim 1,545 \text{ \AA}$ . Помимо слоистых силикатов в исследуемом образце определены кварц и полевой шпат (альбит). Разбухающая фаза в пробе отсутствует.

Глинисто-карбонатные породы внешней части конкреций (см. рис. 2, В-II), вошедшие в кластер II,

<sup>4</sup> ГМ=(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MnO)/SiO<sub>2</sub> [13]

## 2. Химический состав конкреций (в мас. %)

№ п/п	Части конкреции	Образцы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП	Сумма
1	I	5-14	13,38	0,17	5,19	1,36	1,65	1,180	1,79	40,68	1,02	0,72	0,050	32,87	100,06
2		5-15	12,62	0,17	5,25	1,01	1,66	1,120	1,29	41,56	1,02	0,73	0,050	33,57	100,05
3		5-16	16,69	0,21	5,36	1,18	1,38	1,200	1,29	39,89	0,88	0,98	0,050	30,94	100,05
4		5-20	17,96	0,21	5,40	1,07	1,33	1,170	1,62	39,09	1,18	0,80	0,050	30,17	100,05
5		5-25	12,79	0,15	5,37	1,06	1,63	1,100	1,75	41,32	0,94	0,76	0,050	33,12	100,04
6	II	5-6	52,56	0,19	5,49	0,74	1,17	0,570	0,75	18,54	1,22	1,03	0,300	17,44	100,00
7		5-7	56,38	0,30	8,21	0,47	2,36	0,440	1,14	15,46	1,54	1,62	1,190	10,89	100,00
8		5-13	45,87	0,30	6,23	1,00	2,11	0,590	1,20	20,07	2,04	0,89	1,210	18,48	99,99
9		5-13 Б	44,99	0,30	6,30	1,34	2,20	0,600	1,04	20,91	1,89	0,88	1,110	18,44	100,00
10		5-21	40,94	0,25	6,82	1,23	1,60	0,680	1,48	22,98	1,22	1,32	0,500	21,00	100,02
11	5-24	48,19	0,34	6,78	1,68	1,59	0,560	1,10	18,27	2,06	1,13	0,880	17,42	100,00	
12	III	5-18	29,97	0,29	6,84	1,35	1,88	0,840	1,80	28,03	1,36	1,24	0,650	25,74	99,99
13		5-10	36,79	0,32	5,94	1,75	1,45	0,680	1,09	25,96	1,44	1,10	1,390	22,10	100,01
14		5-22	25,39	0,22	5,88	1,44	1,54	0,980	1,16	34,14	1,22	0,97	0,370	26,69	100,00
15		5-3а	32,31	0,21	5,97	0,81	1,83	0,900	1,24	28,25	1,17	1,04	0,390	25,88	100,00
16	IV	5-12	54,54	0,63	10,75	1,36	3,19	0,410	0,81	13,07	2,27	1,96	0,500	10,50	99,99
17		5-19	68,93	0,47	14,36	0,95	3,32	0,040	3,08	0,25	2,64	1,85	0,050	4,11	100,05

Примечание. Обозначения элементов строения конкреций на рис. 2.

3. Химический состав пород энганэпейской свиты и конкреций (в мас. %)

Оксиды	Кластеры			Составы вне кластеров							
	I	II	III	5-16	5-20	5-22	5-18	5-3a	5-6	5-12	5-19
SiO <sub>2</sub>	12,93	43,64	58,80	16,69	17,60	25,39	29,97	32,31	52,56	54,54	68,93
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,29	0,82	0,21	0,21	0,22	0,29	0,21	0,19	0,63	0,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,27	6,61	20,12	5,36	5,40	5,88	6,84	5,97	5,49	10,75	14,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	1,18	2,17	1,18	1,07	1,44	1,35	0,81	0,74	1,36	0,95
FeO	1,65	1,88	3,63	1,38	1,33	1,54	1,88	1,83	1,17	3,19	3,32
MnO	1,133	0,636	0,07	1,20	1,17	0,98	0,84	0,90	0,57	0,410	0,040
MgO	1,61	1,18	2,95	1,29	1,62	1,16	1,80	1,24	0,75	0,81	3,08
CaO	41,19	21,70	0,86	39,89	39,09	34,14	28,03	28,25	18,54	13,07	0,25
Na <sub>2</sub> O	0,99	1,62	1,51	0,88	1,18	1,22	1,36	1,17	1,22	2,27	2,64
K <sub>2</sub> O	0,74	1,14	3,78	0,98	0,80	0,97	1,24	1,04	1,03	1,96	1,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,050	0,953	0,37	0,05	0,05	0,37	0,65	0,39	0,30	0,500	0,050
CO <sub>2</sub>	31,46	17,56	0,19	28,97	28,78	24,63	23,17	24,61	15,91	8,14	0,02
H <sub>2</sub> O	0,38	0,71	0,50	0,35	0,36	0,30	0,56	0,49	0,14	0,32	0,45
ППП	33,19	19,17	3,10	30,94	23,17	26,69	25,74	25,88	17,44	19,17	4,11
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1,73	2,76	5,29	1,86	1,98	2,19	2,60	2,21	2,25	4,23	4,49
ГМ	0,72	0,24	0,46	0,56	0,51	0,40	0,37	0,30	0,16	0,30	0,28

4. Нормативный минеральный состав пород (в об. %)

Минералы	Кластеры			Составы вне кластеров							
	I	II	III	5-16	5-20	5-22	5-18	5-6	5-3a	5-12	5-19
Кварц	1,8	28,6	41,4	6,9	6,2	8,9	15,2	40,2	19,4	30,0	42,0
Плагиоклаз	9,2(9)	15(9)	5,1(21)	8,4(13)	11,1(10)	15,5(9)	12,9(11)	11,4(8)	11,1(10)	12,8(9)	23,7(5)
Ортоклаз	2,8	4,5	2,9	3,9	3,3	5,0	6,7	5,0	5,9	15,7	6,7
Мусковит	2,4	3,4	27,5	2,4	1,6	0,8	1,3	1,6	0,8	5,4	6,4
Хлорит	8,2	4,2	18,4	5,4	6,5	7,3	7,6	4,9	7,7	10,0	17,6
Гематит	1,1	1,1	2,2	1,1	1,1	1,4	1,3	0,8	0,8	1,4	1,0
Лейкоксен	0,2	0,4	1,0	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,8	0,6
Апатит	–	2,2	0,9	–	–	0,9	1,6	0,6	0,9	1,2	–
Кальцит	71,6	36,1	0,4	69,6	68,4	58,6	50,0	34,4	51,9	21,7	–
Родохрозит	2,0	1,0	–	2,0	1,8	1,6	1,4	0,9	1,5	0,7	–
Магнезит	–	2,5	–	–	–	–	1,6	–	–	–	–

Примечание. В скобках дан номер плагиоклаза.

содержат значительно больше полевых шпатов и кварца (табл. 4) при вдвое меньшем, чем в кластере I, количестве кальцита (36,1%). С помощью рентгенодифрактометрического анализа в породе из внешней части конкреции идентифицированы родохрозит – межплоскостные расстояния на дифрактограмме (Å, в скобках интенсивность) 3,67 (2), 2,86 (1), 1,785 (1), родонит – 2,93 (1), 2,8 (1), вернадит – 2,39 (1) и, предположительно, манганит – 3,80 (1), 2,70 (1).

Не вошедшие в кластер I два образца (5-16 и 5-20) глинисто-карбонатной породы из ядер конкреций значительно отличаются от пород этого кластера большими содержаниями кварца и отсутствием виртуального магнезита. В трех образцах породы (образцы 5-18, 5-22, 5-3a), слагающей внешнюю карбонатную корочку конкреций, содержится более 50% кальцита. Два образца, представляющие собой из зоны контакта конкреций и

вмещающих их алевролитов, по составу близки к породам энганэпейской свиты (кластер III), от которых отличаются меньшей гидролизатностью и щелочностью.

На диаграмме выделяются две полосы тренда, на пересечении которых располагается кластер II, в который попали фигуративные точки глинисто-карбонатной породы из внешних частей конкреций. Левая линия отражает тенденцию увеличения доли карбонатов от периферических к центральным частям конкреций, правая – влияние вмещающих пород. По составу изученные конкреции можно отнести к фосфатно-марганцевому карбонатному типу, формирование которых произошло в результате раскристаллизации коллоидов в диагенетическую фазу образования осадка.

**Пирит в отложениях энганэпейской свиты.** В породах энганэпейской свиты часто присутствует новообразованный пирит – кубические кристаллы и

скопления в виде фрамбоидов и мультифрамбоидов, обычно расположенных внутри округлых образований хлорита (рис. 4, А–Б).

Мультифрамбоиды состоят из сцементированных хлоритом фрамбоидов (см. рис. 4, В), сферическая поверхность которых образована октаэдрическими микрокристаллами (см. рис. 4, Г). Мультифрамбоиды имеют размеры 40–100 мкм, составляющие их фрамбоиды – 5–15 мкм, микрокристаллы в пределах фрамбоидов – 0,5–1,0 мкм. Состав пиритов (в мас. %): Fe 44,33–45,00, S 50,41–52,92. Микропримесей не обнаружено. Появление таких образований возможно при трансформации бактериальных колоний в результате взаимодействия биогенного сероводорода с железом глинистого осадка в застойных условиях в нелифитизированных иловых донных отложениях теплого мелководного бассейна [1, 2].

Проведенное изучение нескольких зерен фрамбоидальных и кубических пиритов на высокоразрешающем рамановском спектрометре HR800 (Horiba Jobin Yvon) с использованием встроенного  $Ag^+$  лазера ( $\lambda=488$  нм, мощность при регистрации спектров составляла 12 мВт) показало присутствие на поверхности зерен включений углеродного вещества (см. рис. 4, Д). В процессе регистрации спектров была задействована решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия составлял 300 мкм, щели – 100 мкм, объектив  $\times 100$  (размер анализируемой области образца 4 мкм). Время накопления сигнала – 1 секунда, количество измерений на одном участке спектрального диапазона – 10. Регистрация спектров осуществлялась при комнатной температуре.

В КР спектре образца 5-11-р3 зарегистрированы линии пирита ( $341, 376 \text{ см}^{-1}$ ) и полосы углеродного вещества ( $1205, 1354, 1485, 1596 \text{ см}^{-1}$ ). Полуширина D-полосы ( $1354 \text{ см}^{-1}$ ), составляет  $126 \text{ см}^{-1}$ , полуширина G-полосы ( $1596 \text{ см}^{-1}$ ) –  $82 \text{ см}^{-1}$ , что соответствует слабопорядоченному углероду. Спектр КР углеродного вещества (см. рис. 4, Е) аналогичен неметаморфизованному или слабо метаморфизованному углеродному веществу сланцев [24].

**Обсуждение результатов.** Анализ петрохимических коэффициентов, используемых в качестве индикаторов при палеогеографических реконструкциях, показал наличие у изученных пород неоднозначно трактуемых признаков. В соответствии с критериями Я.Э.Юдовича и М.П.Кетрис [13], исходными осадками для образования алевролитов и аргиллитов являлись глинистые породы хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистого состава, «не связанные с корами выветривания», образование монтмориллонита в которых обусловлено разложением поступавших в бассейн седиментации вулканических пеплов. Однако показатель степени выветрелости обломочного материала (CIW), поступавшего в бассейн седиментации, достигает в верхней части разреза 98, что предполагает развитие на палеоводосборах коры

выветривания, судя по значениям индекса химического выветривания ( $CIW>70$ ), в условиях гумидного климата.

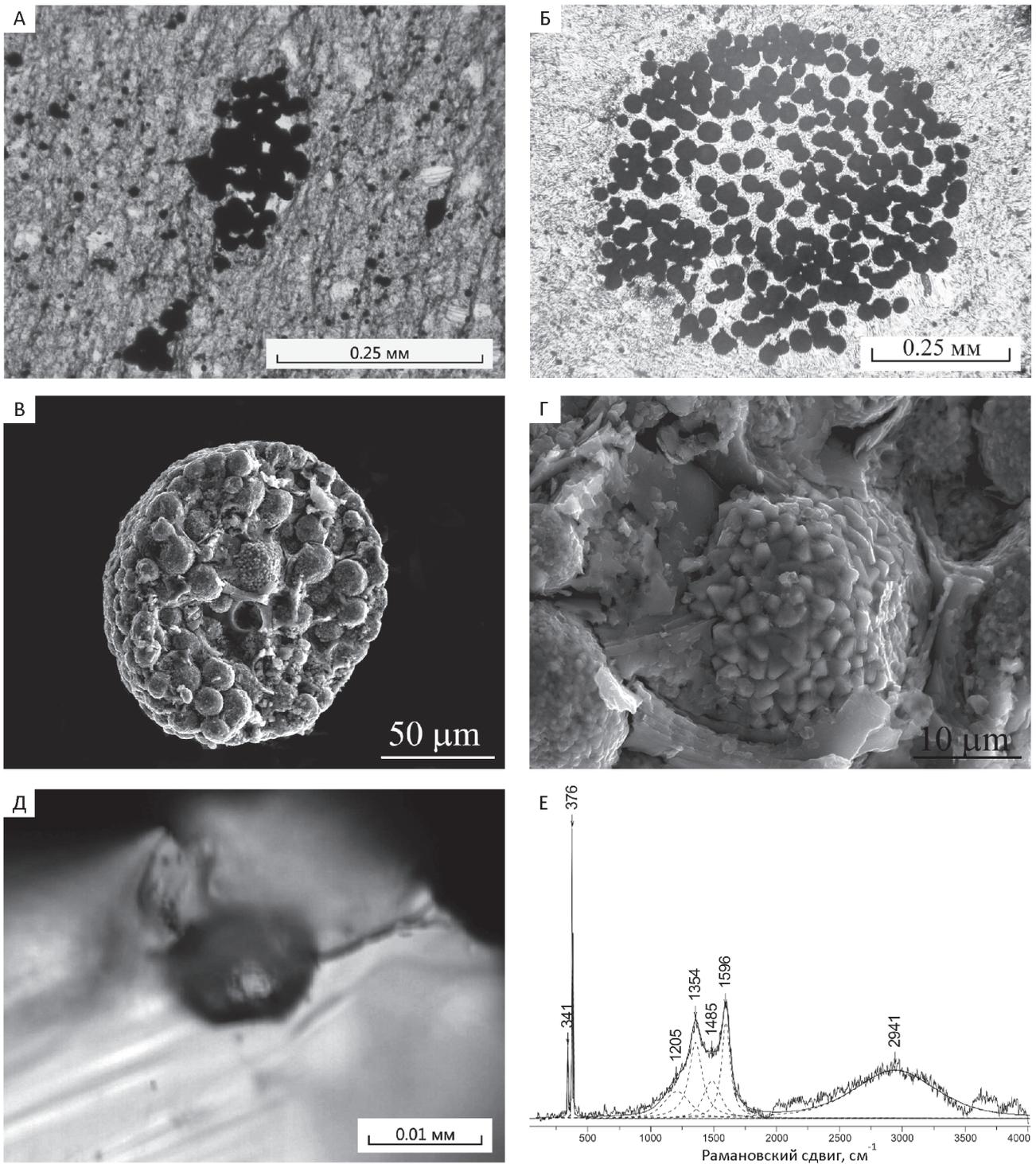
Проведенное рентгендифрактометрическое изучение установило присутствие в составе породы только мусковита и хлорита. Низкая степень метаморфизма углеродного вещества позволяет утверждать, что весь мусковит является обломочным. Поэтому вопрос об использовании данной диаграммы для диагностики состава глинистой фракции тонкозернистых обломочных пород применительно к подобным объектам пока остается открытым.

Соотношение  $K_2O/Al_2O_3$  соответствует рециклированным отложениям, а значения титанового и алюминиевого модулей указывают на отсутствие в породах эксгальвативного материала. Обломочная часть была сформирована в условиях континента, на котором к тому времени существовала латеритная кора выветривания. Такой трактовке истории накопления анганэпейской свиты в принципе противоречат выводы, приведенные в работе Н.Б.Кузнецова и соавторов [5], проводивших изотопное датирование детритных цирконов из разреза анганэпейской свиты в 25 км севернее, в верховье р. Манюкуяха. Они указывают на присутствие в породах основания анганэпейской свиты заметного количества туфогенной примеси, а источниками позднерифейско-вендских цирконов, составляющих большую часть изученных зерен, считают комплексы островодужных образований протоуралид-тиманид. Одно зерно циркона из изученной ими выборки (48 шт.) имеет мезопротерозойский возраст – 1143+20 млн. лет. Присутствие цирконов такого возраста считается характерным признаком размыва древнего остова Балтики [9, 10]. Авторы полагают, что исследованную Н.Б.Кузнецовым и соавторами [5] популяцию цирконов из разреза на р. Манюкуяха следует считать частным случаем, характерным именно для данного географического пункта и данного интервала разреза.

Результаты изотопного датирования детритных цирконов из средней части разреза анганэпейской свиты на руч. Изъявож приведены в работе А.А.Соболевой и соавторов [20]. В выборке из 94 цирконов 22 зерна имеют мезопротерозойский (1021–1565 млн. лет) и 9 зерен – палеопротерозойский (1618–1877 млн. лет) возраст, то есть древние цирконы составляют 33% от изученного количества зерен.

Таким образом, влияние позднерифейско-вендских вулканитов по мере накопления толщи анганэпейской свиты постепенно уменьшалось, и, соответственно, увеличивался вклад рециклированных обломков. Для верхней части полуторакилометрового разреза основным источником обломочного материала был палеоконтинент, а вулканомиктовая составляющая имела подчиненное значение.

В заключение отметим, что в изученном разрезе зоны межформационного контакта уралид/доуралид



**Рис. 4. Пирит из пород енганэпейской свиты:**

А – линзовидное, обр. 5-3; Б – округлое, заключенное в хлорит-серицитовом матриксе, обр. 10; В – мультифрамбоид, обр. 5-4-1; Г – фрамбоид, сложенный октаэдрическими микрокристаллами, заключенный в хлоритовом матриксе, обр. 5-4-1; Д – углерод на поверхности кубического кристалла пирита обр. 65-11-р3; Е – спектр комбинационного рассеяния углерода, обр. 5-11-р3

отложения енганэпейской свиты формировались в застойной восстановительной обстановке и крайне мелководного морского бассейна в присутствии органического вещества с неактивной гидродинамикой и стабильными тектоническими условиями. Периоды незначительного углубления бассейна сопровождались накоплением глинисто-карбонатных железомарганцевых конкреций, окончательное формирование которых проходило в диагенетическую фазу образования осадка.

Результаты авторских исследований не подтверждают представления, согласно которому отложения енганэпейской свиты являются вулканомиктовой молаской (П.Е.Попов и др., 2005).

Авторы считают, что породы енганэпейской свиты имеют поликомпонентный состав и в их формировании принимали участие несколько источников обломочного материала. Одним из источников продолжали оставаться подстилающие вулканогенно-терригенные отложения бедамельской свиты, влияние которых наиболее проявлено в нижней части разреза енганэпейской свиты. Поступление незначительного количества вулканогенного материала, связанного с внедрением габбро и диоритов поздневендского кызыгейского комплекса, продолжалось в течение всего времени накопления толщи. Основную роль в формировании состава пород енганэпейской свиты играли переотложенные, в том числе коровые, образования размываемого древнего континента, а количество обломков подстилающих и близких по возрасту вулканитов уменьшалось по мере накопления осадочной толщи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев М.М., Розанов Ю.А., Хувер Р. Фрамбоздры: их структуры и происхождение // Палеонтологический журнал. 2005. № 5. С. 3–9.
2. Берберьян Т.К. Фрамбоидальный пирит в месторождениях углеродисто-сланцевых формаций (Кизилдере, Филлизчай) / Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии юга России и Кавказа. – Новочеркасск: Набл, 1999. Т. 1. С. 203–205.
3. Дембовский Б.Я. Структурно-фациальная зональность и покровы Полярного Урала и Пай-Хоя // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – М., 1985.
4. Душин В.А. Раннепалеозойский магматизм миогеосинклинальной области Полярного Урала // Советская геология. 1986. № 4. С. 99–110.
5. Кузнецов Н.Б., Куликова К.В., Удоротина О.В. Структурные особенности протоуралид поднятия Енганэ-Пэ (Полярный Урал) как отражение кембрийской коллизии Балтики и Арктиды / Докл. РАН. 2007. Т. 415. № 1. С. 77–82.
6. Македонов А.В., Зарицкий П.В. Значение конкреций для фациального и формационного анализа, корреляции осадочных толщ и поисков месторождений полезных ископаемых // Конкреции и конкреционный анализ. – М.: Наука, 1977. С. 18–32.
7. Никулова Н.Ю. Базальные горизонты уралид севера Урала. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013.
8. Новые данные по стратиграфии верхнего протерозоя и нижнего палеозоя западного склона севера Урала / Б.Я.Дембовский, З.П.Дембовская, М.Л.Клюжина, В.А.Наседкина. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988.
9. Первые результаты изотопного датирования детритных цирконов из кластогенных пород комплексов протоуралид-тиманид: вклад в стратиграфию позднего докембрия поднятия Енганэ-Пэ (запад Полярного Урала) / Н.Б.Кузнецов, Л.М.Натапов, Е.А.Белоусова и др. // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 3. С. 363–368.
10. Первые результаты U/Pb датирования детритных цирконов из раннепалеозойских и девонских песчаников Южного Приладожья / Н.Б.Кузнецов, С.Ю.Орлов, Е.Л.Миллер и др. // ДАН. 2011. Т. 438. № 6. С. 787–793.
11. Розен О.М., Журавлев Д.З., Ляпунов С.М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печерской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
12. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. – М.: Наука, 1976.
13. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – С-Пб: Наука, 2000.
14. Юдович Я.Э., Махлаев Л.В., Кетрис М.П. Минералогические особенности ультракалийевого базальтоида с хребта Енганэ-Пэ, Полярный Урал // Минераловедение и минералогенезис. – Сыктывкар, 1988. С. 34–40.
15. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contrib. geol. 1973. Vol. 27. No. 2. Pp. 148–243.
16. Cox R., Lowe D.R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review / J. Sed. Res. 1995. Vol. A65. Pp. 1–12.
17. Cox R., Lowe D.R., Cullurs R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // Geochim. Et Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 122. Pp. 77–98.
18. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering // Sed. Geol. 1988. Vol. 55. No. 3/4. Pp. 319–322.
19. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date // J. Sed. Petrol. 1988. Vol. 58. Pp. 820–829.
20. Magmatic source rocks for late Neoproterozoic-early Cambrian of the Enganepe Uplift, western Polar Urals / A.A.Soboleva, O.V.Udoratina, E.L.Miller et al. // abstracts AGU-2010/ 2010 AGU Fall meeting 13–17 December. – San Francisco, California, USA. Vol. 31A–2134.
21. Moor B.R., Dennen W.H. A geochemical trend in silicon-aluminum-iron ratios and the classification of clastic sediments // Journ. of sediment. Petrol. 1970. Vol. 40. № 4. Pp. 1147–1152.
22. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of litite // Nature. 1982. Vol. 299. Pp. 715–717.
23. Visser J.N.J., Young G.M. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dywka Formation and post-glacial mudrocks in Southern Africa // Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology. 1990. Vol. 81. Pp. 49–57.
24. Wopenka B., Pasteris J.D. Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy // American mineralogist. 1993. Vol. 78. Pp. 533–557.

**Проблема генезиса высокохромистых гранатов в перидотитах верхней мантии по экспериментальным данным**

А.А.ЧЕПУРОВ, А.И.ТУРКИН (Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН); 630090. г. Новосибирск, проспект акад. Коптюга, 3)

Приведены результаты экспериментальной работы, выполненной на аппарате БАРС. Изучен состав хромистых пироповых гранатов, образующихся в ультраосновной системе при взаимодействии природного серпентина, хромита,  $Al_2O_3$  и CaO-содержащего водного флюида при давлении 5 ГПа и температуре 1300°C. По химическому составу полученные гранаты подобны включениям пиропов гарцбургитового парагенезиса в алмазах.

*Ключевые слова:* хромистый пироп, хромит, высокое давление и температура.

Чепуров Алексей Анатольевич  
Туркин Александр Иванович



achepurov@igm.nsc.ru  
turkin@igm.nsc.ru

**The problem of genesis of chromium-rich garnets in peridotites of the upper mantle by experimental data**

A.A.CHEPUROV, A.I.TURKIN

The results of experiments carried out using a high-pressure BARS apparatus are given. The composition of chrome-rich pyropes that were crystallized in the system of serpentine–chromite– $Al_2O_3$  – Ca-bearing water fluid at pressure of 5 GPa and temperature of 1300°C was studied. The chemical composition of the garnets is similar to harzburgitic pyropes from inclusions in diamonds.

*Key words:* chrome-rich pyrope, chromite, high pressure and temperature.

Пироповые перидотиты (дуниты, гарцбургиты, лерцолиты и верлиты) – один из типов алмазоносных пород в кимберлитовых трубках. Пироп в этих породах характеризуется высоким содержанием хрома. Наиболее ранние парагенезисы представлены ассоциацией оливина и хромита, к которым затем присоединяется пироповый гранат, обогащенный кноррингитовым компонентом [2]. Химический состав гранатов в отношении CaO и  $Cr_2O_3$  весьма разнообразен; так, в выборке из 1400 анализов гранатов из включений в алмазах диапазон массовых содержаний этих компонентов составляет 0–24 и 0,5–21%, соответственно. Причем 50% анализов попадают в область 0,5–3,5 и 6–12,5% [6]. Силикатные минералы (оливин, пироксены), с которыми ассоциируют высокохромистые пироповые гранаты, отличаются повышенной магниальностью [13]. Генезис высокохромистых пироповых гранатов долгое время является предметом широкой дискуссии [11, 15, 16]. Существующие гипотезы образования субкальциевых хромистых пиропов гарцбургитовой ассоциации предполагают кристаллизацию таких гранатов в условиях крайне истощенных перидотитов верхней мантии в области устойчивости граната. При этом образование

лерцолитовых хромистых пиропов более всего связывают с последующими процессами метасоматических преобразований мантийных перидотитов. Так, происходившие изменения условий кристаллизации находят отражение как в изменении содержания главных петрогенных компонентов, в первую очередь CaO, в составе гранатов, так и в распределении редкоземельных элементов [3, 17].

Экспериментальные данные, демонстрирующие кристаллизацию хромистых пиропов, по составу близких к природным гранатам перидотитового парагенезиса, весьма малочисленны, хотя широкая распространённость этого минерала, как сингенетического с алмазом, обуславливает актуальность получения таких данных. В представленной работе приведены результаты экспериментального исследования кристаллизации хром-пироповых гранатов в системе ультраосновного состава при взаимодействии природного серпентина, хромита и корунда с Ca-содержащим водным флюидом.

Эксперименты выполнены на многопуансонном аппарате «разрезная сфера» (БАРС) при давлении  $5 \pm 0,2$  ГПа и температуре  $1300 \pm 25^\circ C$ , длительностью 25 часов. В качестве ячеек высокого давления исполь-

зовали контейнеры, изготовленные из смеси на основе оксидов  $ZrO_2$  и  $MgO$ . Нагреватель в форме полого цилиндра изготовлен из графита. Методические детали подробно описаны в работе [7].

В качестве исходных материалов для исследования использовали природные образцы серпентина (антигорита), хромита и корунда. Серпентин представлял собой тонкозернистый порошок с размером зерен около 5 мкм, и в качестве модельной среды он был выбран из следующих соображений. Как известно, крайней стадией регрессивного метаморфизма перидотитов является серпентинизация. Серпентинит – типичный продукт гидротермального преобразования ультраосновных пород. Вследствие выщелачивания он обеднен кальцием и имеет достаточно высокое значение  $Mg/(Mg+Fe)$  для того, чтобы в ходе субдукционного погружения раскристаллизоваться при соответствующих  $P-T$  условиях в гарцбургит-дунитовый парагенезис. При этом процессы преобразования стимулируются за счет выделяемой при разложении серпентина воды [22].

Зерна низкоглиноземистого (массовая доля  $Al_2O_3$  составляет 6,1%) хромита размером 1–2 мм были взяты из ксенолитов перидотитов трубки Удачная (Якутия). Несколько зерен  $Al_2O_3$  размером 0,1–0,3 мм были добавлены в исходную систему для увеличения валового количества глинозема. Это обеспечивало кристаллизацию пироповых гранатов в ходе эксперимента. Как было показано ранее, образование пиропов в подобной системе при заметном дефиците  $Al_2O_3$  не происходит [8]. Составы исходных минералов приведены в табл. 1.

Схема сборки реакционного объема показана на рис. 1. В качестве источника кальция использовали химически чистый реактив оксида кальция, который смешивали с  $ZrO_2$  (ХЧ) в весовой пропорции 1:19. Смесь равномерно перемешивали и прессовали в виде шайбы. Такая схема подготовки образца моделировала сторонний источник  $CaO$ , который, по предположению авторов, должен был обеспечить привнос кальция в систему посредством переноса флюидом в ходе эксперимента при высоких  $P-T$  параметрах. Диоксид циркония использовали в качестве матрицы ввиду его тугоплавкости и химической инертности по отношению к имеющимся и новообразованным фазам в образце. Исходные зерна хромита и корунда располагали в центральной части цилиндрического образца серпентина и совместно опрессовывали. Для предотвращения прямого контакта серпентина с шайбами из  $ZrO_2$  их дополнительно изолировали от образца графитовыми дисками (см. рис. 1).

Открытая схема сборки (без изолирующей Pt-ампулы) позволяет водному флюиду свободно перемещаться по объему образца во время эксперимента. Частичная потеря воды в ходе опытов могла происходить. Однако это не влияет на конечный результат: как было показано ранее, появление водосодержащих фаз в подобных опытах не наблюдается, а водный флюид уча-

1. Состав исходных компонентов для экспериментов

Компонент	Серпентин	Хромит
$SiO_2$	41,53	0
$TiO_2$	0,02	0,67
$Al_2O_3$	0,95	6,10
$Cr_2O_3$	0	54,04
$FeO$	2,74	26,97
$MnO$	0,14	0
$MgO$	42,15	11,51
$CaO$	0,05	0
$Na_2O$	0,30	0
$NiO$	0	0
$K_2O$	0,02	0
$P_2O_5$	0,00	0
П/пп- $H_2O$	12,42	0
Сумма	100,32	99,29

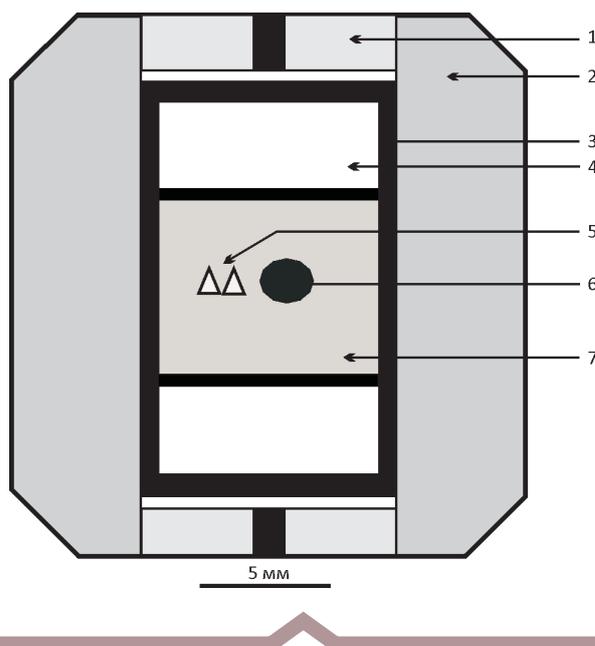


Рис. 1. Схема ячейки высокого давления:

1 – торцевая шайба с электрическим контактом; 2 – контейнер; 3 – графитовый нагреватель; 4 – шайба из смеси  $ZrO_2$  и  $CaO$ ; зерна: 5 –  $Al_2O_3$  и 6 – хромита; 7 – серпентин

ствует в химических реакциях лишь как транспортер компонентов [1].

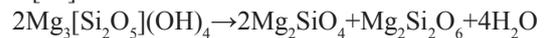
Образцы после экспериментов распиливали вдоль вертикальной оси и исследовали под оптическим микроскопом MC2-Zoom. Составы фаз определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA LMU и X-ray микроанализатора JXA-8100.

Образцы после опытов состояли из плотного мелкозернистого агрегата темно-зеленого цвета. В центральной, самой горячей, зоне по периметру образца образовалась узкая каемка (~2 мм) рыхлого мелкозернистого (<100 мкм) агрегата серого цвета – характерная структура закалочного расплава. Частичное плавление не превышало 15%. В продуктах опытов были идентифицированы оливин и гранат. Оливин занимал большую часть объема образца. Исходные зерна хромита хорошо сохранились и частично замещены новообразованным гранатом, который также представлен зернами размером до 0,5–0,7 мм, раскристаллизованными в объеме

образцов (рис. 2). Гранат выделяется на фоне основной массы ярким малиновым цветом.

В табл. 2 приведены составы новообразованных фаз, зафиксированных в продуктах экспериментов. Оливин характеризуется высокой магниальностью: массовое содержание FeO составляет 2,78–3,54%. В синтезированных гранатах массовые содержания TiO<sub>2</sub> и MnO незначительны и колеблются в интервалах: от 0,02 до 0,05% и от 0,17 до 0,27% соответственно. Все новообразованные гранаты характеризуются высокой хромистостью: массовое содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> колеблется в интервале 6,47–12,34%, массовое содержание CaO в гранатах изменяется в интервале от 3,61 до 4,91%.

Проведенные эксперименты, по мнению авторов, наглядно продемонстрировали роль водного флюида как транспортера петрогенных компонентов, в частности кальция, алюминия и хрома, при метасоматическом преобразовании образцов модельных перидотитов. На начальной стадии экспериментов при температуре 700°C происходила дегидратация серпентина по реакции [20]:



с образованием высокомагнезиального оливина и ортопироксена, по химическому составу близким к минералам природного гарцбургита, и водного флюида. Усредненная скорость миграции флюида, обусловленная просачиванием в интерстициях между минеральными зернами, составляет ~1,5 мм/час [9]. Таким образом, за время проведения опытов (25 часов) флюид, по всей видимости, полностью проникает в торцевые ZrO<sub>2</sub> – таблетки, содержащие CaO, и служит агентом переноса захваченных им из хромита, корунда и торцевых таблеток компонентов, прежде всего алюминия, хрома и кальция. Процесс кристаллизации граната и шпинели происходил при достижении штатных *P-T* параметров эксперимента в динамическом режиме переноса флюидом компонентов по схеме:

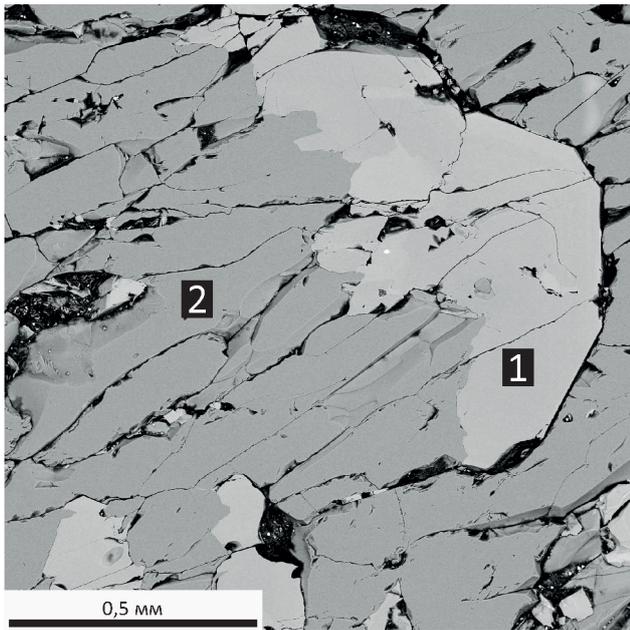


Рис. 2. Зерна новообразованного граната (1) в основной массе оливина (2)

2. Составы новообразованных фаз при *P* 5 ГПа и *T* 1300°C (в массовых долях %)

Номер анализа	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма
<i>Гранат</i>									
CP/G-20	41,75	0,02	14,09	12,34	2,60	0,22	23,81	4,28	99,11
CP/G-21	42,39	0,03	16,35	9,44	2,78	0,22	24,63	3,80	99,64
CP/G-22	42,39	0,02	17,31	8,14	2,85	0,26	23,73	4,72	99,42
CP/G-23	42,47	0,04	17,42	8,16	2,98	0,26	24,12	4,37	99,82
CP/G-24	42,38	0,05	18,30	6,47	3,33	0,27	23,72	4,91	99,43
CP/G-25	42,49	0,02	17,18	8,81	2,93	0,18	23,51	4,42	99,54
CP/G-26	42,64	0,02	17,08	9,57	2,52	0,17	24,29	3,61	99,90
<i>Оливин</i>									
CP/O-10	41,32	0	0,04	0,24	2,78	0,07	54,82	0,01	99,28
CP/O-11	41,48	0	0,04	0,18	3,35	0,09	54,65	0	99,79
CP/O-12	41,80	0	0,03	0,14	3,54	0,07	54,29	0,04	99,91

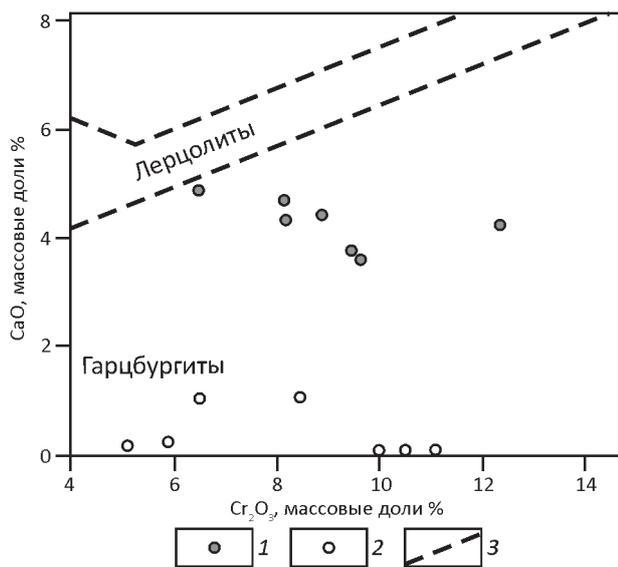


Рис. 3. Соотношение CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в гранатах:

1 – результаты данной работы с добавлением CaO в систему; 2 – ранее полученные авторами результаты [10]; 3 – область гранатов лерцолитового парагенезиса по Н.В.Соболеву [4]

$$\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6 + x\text{CaO} + 0,5(y+xz+z)\text{Cr}_2\text{O}_3 + [2+x-0,5(y+xz+z)]\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Mg}_{3-x}\text{Ca}_x)(\text{Al}_{2-y}\text{Cr}_y)\text{Si}_3\text{O}_{12} + (x+1)\text{Mg}(\text{Al}_{2-z}\text{Cr}_z)\text{O}_4$$

Образовавшиеся гранаты по составу (CaO=3,61–4,91%) подобны наиболее распространенным включениям хромистых пиропов в алмазах [5, 19]. На диаграмме CaO/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> видно (рис. 3), что составы полученных гранатов попадают в верхнюю часть области гарцбургитовых пиропов и лежат заметно выше субкальциевых хромистых пиропов, которые авторами были ранее экспериментально продемонстрированы в сильно обедненной по кальцию системе [10]. Характерные для опытов в данной системе, отдельные небольшие зерна новообразованной хромистой шпинели авторам здесь проанализировать не удалось; это произошло из-за малого количества данной фазы в продуктах опытов, которая просто не попала на срез образцов при анализах.

Выбранная авторами данной статьи система моделировала субдуцирующую серпентинитовую породу, которая подверглась метаморфическим и метасоматическим изменениям на глубинах более 120 км, отвечающим параметрам опытов. Так, результаты экспериментов продемонстрировали, что в данной системе при выбранных *P-T* параметрах происходит частичное плавление образца. Можно предположить, что в природных условиях частичное плавление пород, отделение и перемещение флюидной фазы являлись ведущими факторами в ходе процессов геохимической трансформации

ультрабазитов и кристаллизации высокохромистых пироповых гранатов. Такие флюиды имели сложный состав, причем роль флюида преимущественно водного состава при образовании высокохромистых гранатов могла быть достаточно высока. Флюиды, транспортирующие кальций, вероятнее всего связаны с субдуцирующими карбонатсодержащими породами. Таким образом, в аспекте субдукционной природы протолита кимберлитов следует отметить существенное влияние процессов метасоматоза, с которыми может быть связано образование высокохромистых пироповых гранатов, ассоциирующих с алмазами.

Самые низкокальциевые хромистые пиропы гарцбургитовой ассоциации кристаллизовались вместе с высокомагнезиальным оливином и ортопироксеном, что подтверждают многочисленные данные по включениям в природных алмазах [14, 18]. Этот этап относится к наиболее древним временам в истории нашей планеты. Высокохромистые гранаты с повышенным содержанием кальция (CaO до 5–7%) могли образовываться в условиях привноса кальция в истощенную гарцбургитовую породу. Этот процесс происходил позже образования гранатов гарцбургитовой ассоциации и связан, вероятнее всего, с метасоматическими преобразованиями перидотитов в условиях верхней мантии [21]. Данные по изучению включений минералов в природных алмазах демонстрируют резкое преобладание гарцбургитового парагенезиса среди включений (>80%) [12], что также косвенно указывает на протекание метасоматических процессов уже после образования низкокальциевых гранатов гарцбургитовой ассоциации, захваченных алмазами при их росте.

Авторы выражают благодарность рецензенту за сделанные ценные замечания.

Работа выполнена в Институте геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН в рамках проекта № 0330-2016-0012. Исследования фаз были проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Консервация водного флюида во включениях в минералах и межзерновом пространстве при высоких *P-T* параметрах в процессе разложения антигорита / А.И.Чепуров, А.А.Томиленко, Е.И.Жимулёв и др. // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 305–320.
2. Маракушев А.А., Вахрушев В.А. Интрателлурическая кристаллизация минералов и проблема состава мантии Земли // Записки ВМО. 1991. Ч. СХХ. № 5. С. 1–15.
3. Пиропы и хромиты из кимберлитов Накынского поля (Якутия) и района Снэп-Лейк (провинция Слейв, Канада): Свидетельства аномального строения литосферы / Н.П.Похиленко, Н.В.Соболев, С.Д.Черный и др. // ДАН. 2000. Т. 372. № 3. С. 356–360.

4. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. Т. 3. С. 70–79.
5. *Соболев Н.В.* Парагенезисы алмаза и проблема глубинного минералообразования // Записки ВМО. 1983. Ч. СХП. Вып. 4. С. 389–396.
6. *Туркин А.И., Соболев Н.В.* Пироп-кноррингитовые гранаты: обзор экспериментальных данных и природных парагенезисов // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 1506–1523.
7. *Устойчивость* ромбического и моноклинного пироксенов, оливина и граната в кимберлитовой магне / А.И.Чепуров, Е.И.Жимулев, А.В.Агафонов и др. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 4. С. 533–544.
8. *Чепуров А.А., Тычков Н.С., Соболев Н.В.* Экспериментальное моделирование условий кристаллизации субкальциевых хромистых пиропов // ДАН. 2013. Т. 452. № 6. С. 664–668.
9. *Экспериментальная* оценка реальности просачивания (миграции) летучих компонентов ( $H_2 + CO_2$ ) в породах мантийного клина / А.И.Чепуров, В.М.Сонин, Н.С.Тычков, И.Ю.Кулаков // ДАН. 2015. Т. 464. № 1. С. 100–104.
10. *Chepurov A.A., Turkin A.I., Dereppe J.M.* Interaction of serpentine and chromite as a possible formation mechanism of subcalcic chromium garnet in the upper mantle: an experimental study // European Journal of Mineralogy. 2016. Vol. 28. Iss. 2. Pp. 329–336.
11. *Chrome-pyropes* from Yakut diamonds / N.V.Sobolev, Yu.G.Lavrent'ev, I.N.Pospelova, E.V.Sobolev // Doklady Akademii Nauk SSSR. 1969. Vol. 189. Pp. 162–165.
12. *Diamonds through Time* / J.J.Gurney, H.H.Helmstaedt, S.H.Richardson, S.B.Shirey // Economic Geology. 2010. Vol. 105. Pp. 689–712.
13. *Gurney J.J., Harris J.W., Rickard R.S.* Minerals associated with diamonds from the Roberts Victor Mine / J.Kornprobst (Ed.) // Kimberlites. II. The Mantle and Crust-Mantle Relationships. – Amsterdam: Elsevier, 1984. Pp. 25–35.
14. *Inclusions in Premier Mine diamonds* / J.J.Gurney, J.W.Harris, R.S.Rickard, R.O.Moore // Trans. Geol. Soc. S. Afr. 1985. Vol. 88. Pp. 301–310.
15. *Kesson S.E., Ringwood A.E.* Slab-mantle interactions 1. Sheared and refertilised garnet peridotite xenoliths – samples of Wadati-Benioff zones? // Chemical Geology. 1989. Vol. 78. Pp. 83–96.
16. *Klein-BenDavid O., Pearson D.G.* Origins of subcalcic garnets and their relation to diamond forming fluids—Case studies from Ekati (NWT-Canada) and Murowa (Zimbabwe) // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. Vol. 73. Pp. 837–855.
17. *Metasomatic* processes in lherzolitite and harzburgitic domains of diamondiferous lithospheric mantle: REE in garnets from xenoliths and inclusions in diamonds / T.Stachel, K.S.Viljoen, G.Brey, J.W.Harris // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Vol. 159. Pp. 1–12.
18. *Origin of diamonds in old enriched mantle* / S.H.Richardson, J.J.Gurney, A.J.Erlank, J.W.Harris // Nature. 1984. Vol. 310. Pp. 198–202.
19. *Petrology and geochemistry of a diamondiferous lherzolite from the Premier diamond mine, South Africa* / K.S.Viljoen, R.Dobbe, B.Smit, E.Thomassot et al. // Lithos. 2004. Vol. 77. Pp. 539–552.
20. *Problem of water in the upper mantle: antigorite breakdown* / A.I.Chepurov, A.A.Tomilenko, E.I.Zhimulev et al. // Doklady Earth Sciences. 2010. Vol. 434. № 1. Pp. 1275–1278.
21. *Richardson S.H., Harris J.W., Gurney J.J.* Three generations of diamonds from old continental mantle // Nature. 1993. Vol. 366. Pp. 256–259.
22. *Ulmer P., Trommsdorff V.* Serpentine stability to mantle depths and subduction-related magmatism. *Science*. 1995. Vol. 268. Iss. 5212. Pp. 858–861.

## Особенности строения и формирования высокоуглеродистых комплексов

Т.А.ШАРДАНОВА, Н.П.ФАДЕЕВА, А.Н.ХОМЯК, В.Л.КОСОРУКОВ (Московский государственный университет (МГУ) им. М.В.Ломоносова; 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1)

Рассмотрены вопросы литологической типизации высокоуглеродистых пород смешанного состава – черных сланцев. Выявлены особенности их строения: текстуры, структуры, минеральный состав, содержание органического вещества. Определены седиментационные и постседиментационные факторы, влияющие на их формирование и обстановки формирования разрезов доманикоидного и доманикитного типа.

*Ключевые слова:* высокоуглеродистая формация, условия и обстановки формирования, Южно-Татарский свод.

Шарданова Татьяна Анатольевна  
Фадеева Наталья Петровна  
Хомяк Алексей Николаевич  
Косоруков Владимир Леонидович



tshardanova@mail.ru  
fadeeva\_nataly@mail.ru  
khomyak.an@yandex.ru  
kosorukov-vladimir@rambler.ru

## Peculiarities of structure and formation of high-TOC rock series

T.A.TSHARDANOVA, N.P.FADEEVA, A.N.KHOMYAK, V.L.KOSORUKOV

An approach to a lithological classification/typization of black shales (rocks of different lithologies with high TOC content) is discussed in the paper. Peculiarities of their structure, mineral composition, organic matter content are described. Sedimentary and post-sedimentary factors affecting their formation are distinguished and typical gross depositional environments of domanic-type deposits are determined.

*Key words:* black shales, depositional environments, South-Tatar swell.

В отложениях франско-фаменского возраста позднего девона Волго-Уральского бассейна широко распространены породы смешанного типа, когда «смешиваются» представители класса сапропелитов с классами карбонатолитов, силицитов и глинистых пород. Эта смешанность состава отражает не только первичный состав осадков, аутигенную минерализацию, но и внутреннюю текстуру пород, когда при петрографическом анализе выявляется миллиметровое чередование слоев различного состава и генезиса. Данный комплекс отложений отличается повышенным содержанием углеродистой составляющей и получил название «черносланцевый». Термин «черный сланец» пришел к нам из англоязычной, в основном американской, литературы – как буквальный перевод термина «black shale». Исследователи используют также термины «сапропелевый сланец», «битуминозный сланец», «углеродистый сланец», «богатый органикой сланец», «горючие сланцы», «битуминозные аргиллиты» и др. Я.Э.Юдович определяет «черные сланцы» как «водно-осадочные горные породы, обычно темные, пелитоморфные (по структуре – дополнение авторов) и сланцеватые (тонкослоистые – дополнение авторов), обогащенные сингенетичным ор-

ганическим веществом, преимущественно аквагенного и, отчасти, терригенного типов» [5, с.10]. По мнению С.Г.Неручева, «...большая часть различий, обусловивших их разное наименование и различное использование, обязана значительным *вторичным* изменениям, происходящим при прогрессивном литогенезе..., существенных генетических различий между ними почти не остается, вне зависимости от того, образовались они в архее, протерозое, фанерозое или даже в современную эпоху; они весьма сходны не только в разновозрастных отложениях, но и в самых различных районах мира, на платформах и в геосинклиналях» [2, с. 37].

**Цель исследования.** Среднефранско-турнейский латеральный формационный ряд включает в себя глинисто-кремнисто-карбонатную битуминозную (доманиковую) формацию. Доманиковая формация широко распространена на территории Волго-Уральского бассейна, а с позднего франа выстилает ложе Камско-Кинельской системы прогибов (ККСП) и на юге Среднего Предуралья связана с Калининским прогибом этой системы, характеризуя условия относительно глубоководного, незагруженного осадками шельфового пролива. Карбонатная рифогенная формация образует борта и

изолированные массивы внутри ККСП. Обстановки накопления этой формации были достаточно разнообразными, а в целом условия образования верхнедевонско-турнейского латерального формационного ряда – весьма дифференцированными [3].

Авторы данной статьи изучали особенности строения пород доманиковой формации, вскрытых скважинами в пределах Южно-Татарского свода, с целью выявления седиментологических признаков, позволяющих восстановить генезис, условия и место их формирования.

**Основы литологической типизации углеродсодержащих пород.** Для отложений семилукского и бурежского (речинского, мендымского) горизонтов верхнего девона характерно повышенное содержание органического вещества (ОВ). Их изучение проводится по двум направлениям: литологическому (выявление минеральной составляющей) и геохимическому (определение количества и качества ОВ). Эти два направления не всегда пересекаются, поэтому нередко в работах, посвященных литологической типизации «черных сланцев», выделяются литотипы известняков, кремней, глин и др., без учета сингенетичного органического вещества. При геохимических исследованиях породы подразделяются по концентрации ОВ, без учета минеральной составляющей. Несогласованность не только в терминологии, но и в понимании границ выделяемых типов пород затрудняет работу исследователя, занимающегося изучением подобных комплексов (табл. 1).

Авторы при проведении литологической типизации пород доманиковой толщи предприняли попытку увязать минеральную и органическую составляющие. Для получения корректного результата образцы для петро-

графического, минерального и пиролитического анализов отбирались из одного образца. Эти условия особенно необходимы при изучении тонкослоистых пород, где, как будет показано ниже, отмечается тонкое переслаивание разнородных по составу и генезису слоев.

Необходимо напомнить, что осадочные горные породы отличаются поликомпонентностью и полигенетичностью своих составных частей. В основу их классификации положен вещественный состав и морфологические особенности породных компонентов (ПК), то есть литологический тип породы именуется в соответствии с названием главного ПК, на долю которого приходится свыше 50% объема вещества [6]. Этот же принцип был использован авторами при проведении литологической типизации высокоуглеродистых пород с учетом того, что при изучении органического вещества определена его сингенетичность.

Изучение минерального состава пород выявило три крупные группы: карбонатные (известняки), кремневые и породы смешанного состава (табл. 2). Все эти породы встречаются по всему разрезу доманиковой формации, однако их доля, структурно-текстурные особенности, мощности слоев (слоев) и содержание  $C_{орг}$  (вес. %) различаются. Наиболее характерными высокоуглеродистыми породами доманикового комплекса являются тонкослоистые пелитоморфные породы черного, темно-серого цветов с миллиметровой слоистостью, обычно горизонтальной, реже линзовидной. Слоистость («сланцеватость») обусловлена колебанием основных компонентов, слагающих эти породы: сапропелевый материал (кероген); известковый материал, представленный ракушняковым шламом, микритовой примесью, остатками тентакулит; кремневый материал;

**1. Типизация углеродсодержащих пород. По данным различных авторов**

$C_{орг}$ (вес. %)	Н.Б.Вассоевич, 1968	О.К.Баженова, 2004	Я.Э.Юдович, 1988	В.Н.Шванов, 1998
>25	Каустобиолиты	Собственно сапропелиты	Высокоуглеродистые ( $C_{орг} > 10\%$ )	Идиолитические сапропелиты
10–25		Доманикиты		Доманикиты
5–10			Доманикиты, баженовиты	
2,5–5,0	Углеродистые ( $C_{орг} 3–10\%$ )			
1,0–2,5		Низкоуглеродистые ( $C_{орг} 1–3\%$ )		
0,5–1,0	Умеренно рассеянное ОВ		Субдоманикоиды	Субдоманикоиды
0,1–0,5	Сильно рассеянное органическое вещество			

2. Литологическая типизация отложений на примере Южно-Татарского свода

$C_{орг}$ (ТОС) (вес. %)	Карбонатные породы (известняки)	Кремневые породы	Смешанные породы (ритмиты)
$\leq 0,5$	Шламовые, микритовые, биокластовые; карбонатная осадочная брекчия		
0,5–5 Углеродистые (доманикоидные)	Биокластовые, шламово-биокластовые, микритовые, биокластовые тентакулитовые	Кремень, радиоляриты	
5–25 Высокоуглеродистые (доманикитные)	Ритмиты известковые	Ритмиты кремнистые, радиоляриты	Ритмиты кремнисто-известковые и известково-кремнистые, глинисто-кремнисто-известковые и глинисто-известково-кремнистые
$\geq 25$ Каустобиолиты, сапропелиты (доманикиты)	Известковистые, кремнистые, известковисто-кремнистые, кремнисто-известковистые, глинисто-кремнисто-известковистые		

радиолярии; глинистая примесь. Эта переменчивость обусловлена как седиментационными, так и постседиментационными факторами. Подобные породы авторы отнесли к «ритмитам» (см. табл. 2).

**Обстановки осадконакопления углеродсодержащих пород.** В результате проведенного литолого-фациального анализа пород доманиковой формации, основанного на изучении вещественного состава, текстурно-структурных особенностей пород, анализа биогенных остатков, анализа типа органического вещества и характера его распределения в породах были выделены следующие обстановки осадконакопления: *склон бортовой части внутришельфовой депрессии, внутришельфовая депрессия*. Отложения, отнесенные авторами к высокоуглеродистой формации, подстилаются и перекрываются комплексом карбонатных пород, представленных тонко-, мелкозернистыми доломитами, органогенно-обломочными известняками, с редкими слоями со строматопороидеями и расслоенными миллиметровыми слоями темно-серых глинисто-известковых, глинистых пород (*отложения карбонатной платформы*).

**Склон бортовой части внутришельфовой депрессии.** На примере разрезов, вскрытых в пределах Верхне-Горейской и Тлянчи-Тамакской площадей, выявлены основные особенности интервала, формирующегося в этой обстановке и перекрывающего мелководный карбонатный комплекс (рис. 1):

присутствие прослоев осадочной брекчии, где интракласты представлены как остроугольными, так и сглаженными фрагментами однородных, преимущественно пелитоморфных известняков, что указывает на разную степень литификации осадков, вовлеченных в процессы оползания;

резкие неровные, извилистые нижние и верхние контакты прослоев известняков со следами продавливания; среди известняков отмечаются как безуглероди-

стые, так и углеродистые (доманикоидные) разности; содержание  $C_{орг}$  колеблется от 0 до 5%;

присутствие прослоев, насыщенных раковинным детритом двустворок, криноидей, остракод, брахиопод, гастропод, тентакулит;

маломощные прослои тонкослоистых глинисто-известковых и известковых пород (ритмитов) с повышенным содержанием органического вещества –  $C_{орг}$  колеблется от 5 до 21%, причем количество органического углерода меняется в зависимости от генезиса осадка;

диагенетические карбонатные, кремнисто-карбонатные конкреционные стяжения в высокоуглеродистых ритмитах, которые нередко обуславливают волнистую, линзовидную и конволютную слоистость.

В верхних частях разреза, перекрываемого мелководным карбонатным комплексом, вскрывается комплекс пород, аналогичный нижней части разреза высокоуглеродистой толщи. Они отличаются или отсутствием прослоев осадочных брекчий, или их маломощностью. Однако увеличение прослоев биокластовых известняков с оползневыми контактами и уменьшение доли высокоуглеродистых интервалов тонкослоистых пород позволяет предположить развивающуюся регрессию, приводящую в результате к усилению сноса карбонатного материала с мелководных участков внутрибассейновых поднятий и карбонатной платформы.

Все данные признаки указывают на преобладание в осадочных разрезах этого типа осадков (пород), сформированных кратковременными, катастрофическими гравитационными процессами, проявленными в виде оползания, осыпания и схода гравитационных потоков высокой плотности. Следует обратить внимание на присутствие среди интракластов микритовых известняков с незначительным количеством биокластов. По-видимому, процессу оползания и(или) осыпания подвергались осадки краевой части карбонатной платформы (или внутрибассейновых поднятий), расположенной

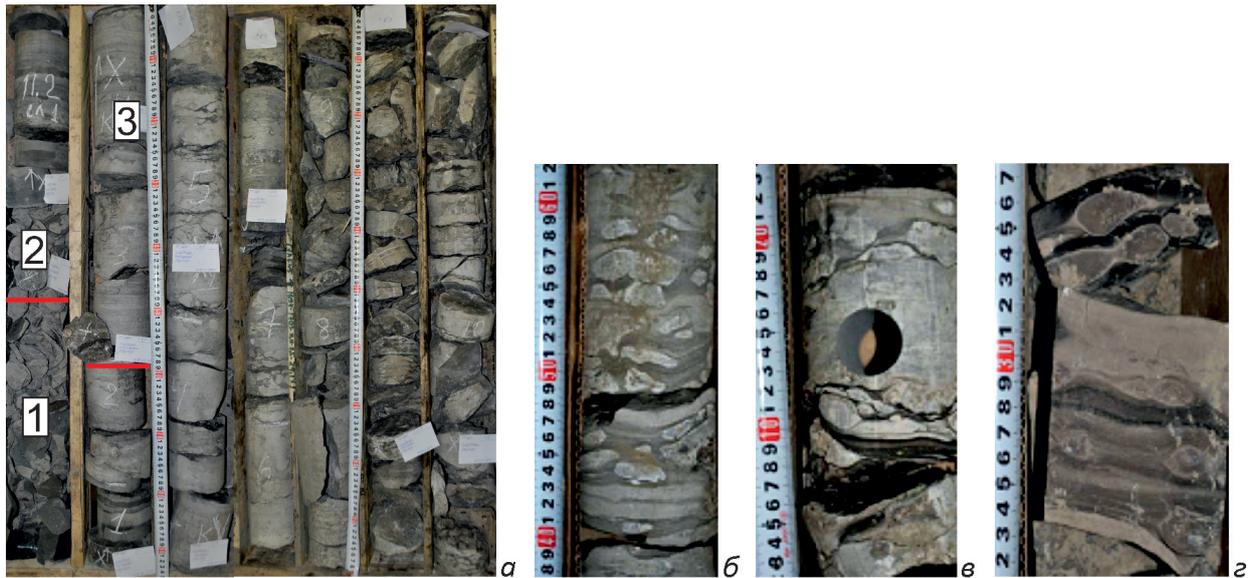


Рис. 1. Особенности строения отложений склона бортовой части внутришельфовой депрессии:

*а* – общий вид керна Тлянчи-Тамакской площади: 1 – глины, алевролитовые глины тиховодного залива, 2 – биоморфные, биокластовые известняки, доломиты карбонатной платформы, 3 – обломочные, биокластовые известняки, карбонатная осадочная брекчия с редкими слоями высокоуглеродистых (доманикитных) пород и кремнисто-известковыми конкрециями; *б* – осадочная брекчия; *в* – невыдержанные маломощные слои высокоуглеродистых пород, подчеркивающие неровные границы известняков; *г* – диагенетические известковые стяжения

ниже волнового базиса. Присутствие в разрезе слоев известняков, насыщенных биокластами, связано, вероятно, с выносом известкового ила гравитационными потоками, спровоцированными крупными штормовыми процессами. В меньшей степени в этом интервале встречаются темно-серые до черного цвета пелитоморфные породы с повышенным содержанием органического вещества. Однако это позволяет предположить, что на данном этапе уже формировалась впадина с накоплением фоновых сапропелевых илов, формирование которых происходило ниже волнового и, возможно, штормового базиса. Выше по разрезу отмечается смена отложений, связанных с оползневыми и осыпными процессами, осадками, сформированными плотностными гравитационными потоками. Увеличивается доля высокоуглеродистых пород в разрезе, а также отмечается повышение  $C_{орг}$  в биокластовых известняках (вероятно, за счет захвата сапропелевых фоновых илов гравитационными потоками). Необходимо подчеркнуть, что если в отложениях гравитационного сноса в нижней части разреза отмечены только остатки мелководного бентоса, то выше наряду с ними встречаются и остатки тентакулит, характерных для фоновой седиментации, что указывает на их переотложение. В основании интервала, выделенного как отложения склона внутришельфовой депрессии, для которых характерны оползневые и гравитационные процессы, среди тентакулитовых из-

вестняков выделяется маломощный слой сапропелита с примесью вулканокластики. Можно предположить, что примесь пирокластики маркирует этап вулканической и тектонической активизации, что, по-видимому, и явилось причиной усиления гравитационных процессов (возможно, это связано с изменением уровня моря или увеличением крутизны склона).

**Внутришельфовая депрессия.** Среди отложений внутришельфовой депрессии на данном этапе исследований можно выделить два типа разрезов:

1. Комплекс высокоуглеродистых (доманикитных) кремнисто-известковых и известково-кремнистых пород, преимущественно тентакулитовых.

2. Комплекс высокоуглеродистых (доманикитных) кремнисто-известковых и известково-кремнистых пород, преимущественно тентакулит-радиоляриевых с примесью и прослоями вулканомиктового материала.

Комплекс высокоуглеродистых (доманикитных) кремнисто-известковых и известково-кремнистых пород, преимущественно тентакулитовых.

Подобный характер разреза вскрыт в пределах северного и северо-восточного склонов Южно-Татарского свода (Тлянчи-Тамакская площадь) (рис. 2). Для этой части разреза характерны:

тонкослоистые породы с миллиметровой слоистостью, обычно горизонтальной, реже линзовидной. Слоистость обусловлена колебаниями основных ком-



Рис. 2. Керн высокоуглеродистых пород Тлянчи-Тамакской площади:

а – общий вид; б – чередование кремнистых и карбонатных пород; в – чередование пород с разным содержанием  $C_{орг}$

понентов, слагающих эти породы: сапропелевый материал, известковый материал, представленный шламом, микритовой примесью, остатки тентакулит, кремневый материал, глинистая примесь;

отмечается резкое сокращение прослоев биокластовых (с остатками двустворок, криноидей) и микритовых известняков. Границы известняков резкие неровные. Нередко отмечается градационная слоистость, выраженная в изменении размера и количества детрита, и увеличение глинисто-сапропель-известкового матрикса;

значительное содержание остатков тентакулит, рассеянных и сгруппированных в маломощные слойки. Встречаются слойки как с цельнораковинными остатками, так и с их обломками;

увеличение прослоев кремнистых пород с афанитовой структурой, не слоистых или с сохранением реликтовой текстуры, подчеркнутой распределением органических остатков, среди которых преобладают тентакулиты. Мощности прослоев от 1 до 12 см. Границы резкие как ровные, так и неровные;

увеличение прослоев и интервалов с повышенным содержанием органического вещества – весовое содержание его достигает в отдельных образцах 40%.

Прослои подобного состава и строения характерны и для обстановок склона, где они чередуются с полидетритовыми известняками как безуглеродистыми, так и углеродистыми. Кремнеобразование связано, в первую очередь, с вторичным окремнением осадков на стадии диагенеза. Эти процессы вызваны, вероятно, высокой концентрацией кремниевой кислоты в придонной и иловой воде.

Высокоуглеродистые (доманикитные) кремнисто-известковые и глинисто-известково-кремнистые породы преимущественно тентакулит-радиоляриевые с примесью и прослоями вулканомиктового материала.

Подобный характер разреза вскрыт в пределах Березовской и Азнакаевской площадей, расположенных на западном и восточном склонах Южно-Татарского свода. Основным отличием этого комплекса от описанного выше является:

заметное увеличение радиолярий, содержание которых колеблется от нескольких процентов до 30–40%, с образованием прослоев радиоляритов;

значительное содержание в разрезе слойков, насыщенных вулканокластикой;

в верхней части вскрытого разреза в пелитоморфных осадках с радиоляриями встречаются фрагменты и микролинзы криптозернистых известняков (микритов). Ассоциация кремневого зоопланктона, ракушнякового известкового детрита и фрагментов микритовых известняков связана, по-видимому, с процессами перетложения материала со склонов впадины на стадии регрессии или тектонической активизации.

Этот тип депрессионного разреза характерен для верхней части разреза. Источником кремнезема могли быть, вероятно, не только воды Мирового океана, но и организмы кремнеаккумуляторы, такие как радиолярии, а также процессы вулканизма и подводной разгрузки насыщенных кремнеземом горячих эндогенных гидротерм. Следы синхронного вулканизма были отмечены (редко) в нижней части высокоуглеродистой толщи в пределах северного склона Южно-Татарского

свода и в верхней половине изученных разрезов на его западных и восточных склонах. Содержание кремниескислоты значительно превышало ее обычное содержание в позднедевонских морях и действовало угнетающе на придонную фауну. В отличие от первого во втором преобладает планктоногенный тип седиментации (фито- и кремневый зоопланктон).

Наиболее характерными породами для этих разрезов являются ритмы *высокоуглеродистые (доманикитные)*. По результатам петрографического анализа, а также с учетом минерального и пиролитического анализа, высокоуглеродистые ритмы подразделяются на: известковые, кремнистые и смешанного состава (кремнисто-известковые, известково-кремнистые, глинисто-кремнисто-известковые, глинисто-известково-кремнистые). Текстура в образце горизонтальная, подчеркнута цветом и составом пород. Волнистая и линзовидно-волнистая слоистость обусловлена обычно

ростом диагенетических стяжений. Мощности слоев 1–2 мм. В ритмах выделяются следующие типы слоев:

а) известковые биоморфные тентакулитовые. Содержание остатков более 50%, раковины сложены волокнистым кальцитом, не деформированы за счет ранней карбонизации. Цемент представлен как агрегатом ясно зернистого кальцита, так и углеродисто (кероген)-известковой пелитоморфной массой (рис. 3, а–б); в отдельных случаях стенки тентакулит окремнелые;

б) слои, насыщенные биокластами и (или) шламовым известковым материалом, преимущественно фрагментами тентакулит, преобладает пелитоморфный углеродисто-известковый матрикс. Цельнораковинные формы обычно деформированы, уплощены (см. рис. 3, в–г);

в) кремневые с реликтовой биоморфной структурой. Биогенных остатков до 50%, представленных, преиму-

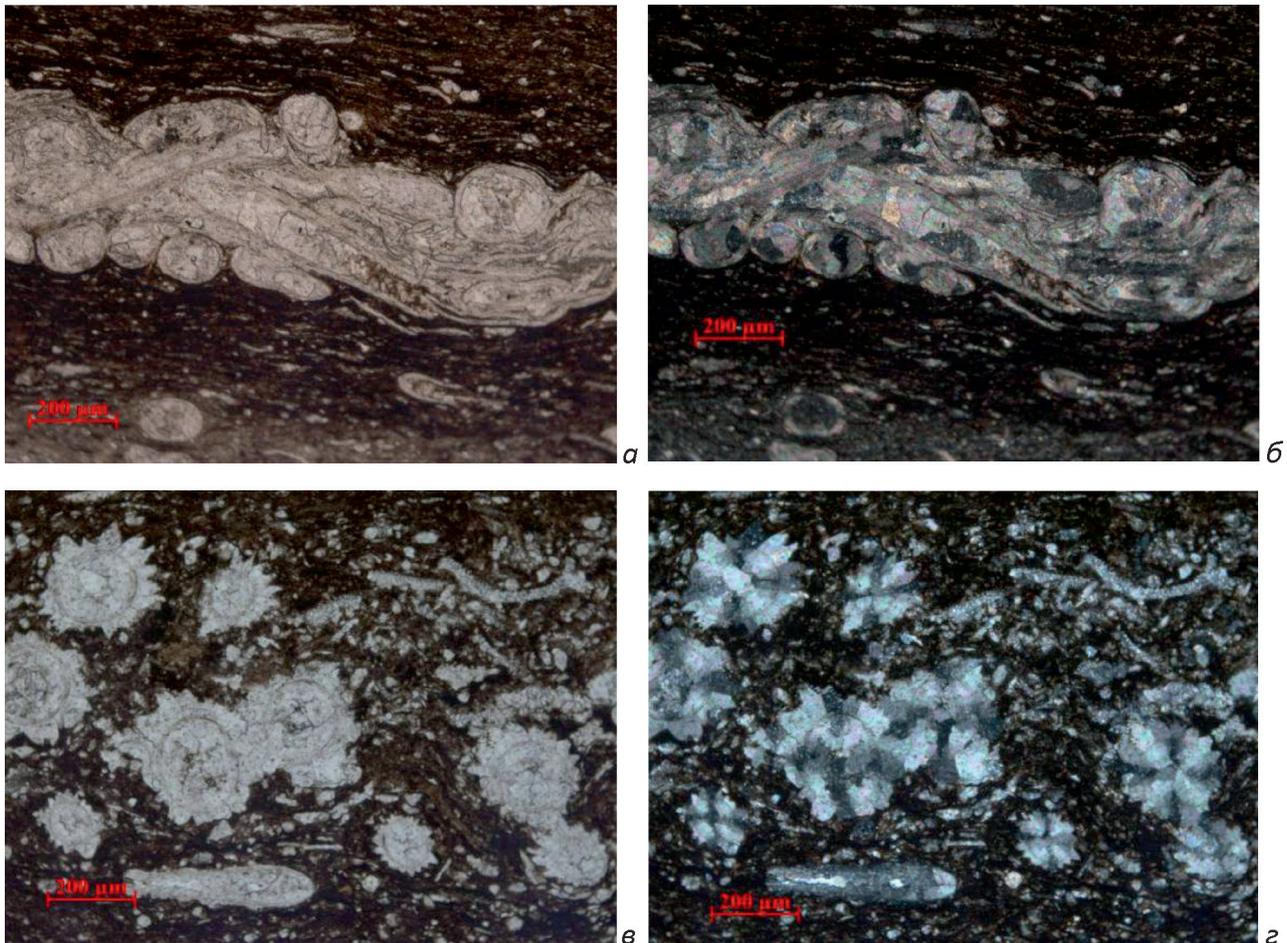


Рис. 3. Ритмы известковые высокоуглеродистые с цельнораковинными остатками тентакулит (а, б) и биокласт-шламовой примесью (в, г):

николи: параллельные (а, в) и скрещенные (б, г)

щественно, тентакулитами, замещенные халцедоном (рис. 4, *a–d*). Раковины не деформированы, вероятно, за счет раннего окремнения. Цементирующая масса криптозернистая углеродисто-кремнистая. Внутрираковинное пространство выполнено халцедоном с тонкофибровой структурой. Нередко имеет зональное строение от стенки к центру: халцедон с радиально лучистой структурой – кварц с гранобластовой структурой. В полостях тентакулит, выполненных волокнистым халцедоном, отмечается ОВ, в отличие от участков, залеченных кварцем с гранобластовой структурой (обычно в центре полости). Пустотное пространство приурочено также к участкам с волокнистым халцедоном как в тентакулитах, так и в трещинах;

г) кремневые с реликтовой биоморфной структурой. Биогенных остатков, представленных преимущественно радиоляриями, до 50%. Мощности кремнистых слоев радиоляритов или содержащих радиолярии 1–5 мм. Размер радиолярий 0,05–0,1 мм. Скелеты выполнены халцедоном. Нередко деформированы и частично растворены. Внутри скелетное пространство обычно выполнено органическим веществом или халцедоном. В отдельных случаях радиолярии замещены карбонатом или в значительной степени растворены с сохранением внутри скелетного карбонатного «ядра» (см. рис. 4, *e*).

д) кремневые, с преобладанием криптозернистой кварц-халцедоновой и(или) углеродисто-кремневой массой. Содержание биогенных остатков, представленных

преимущественно тентакулитами или радиоляриями, сложенными волокнистым халцедоном – 5–10%. Текстура как тонкослоистая, унаследованная, обусловленная распределением органогенных остатков, так и неслоистая;

е) вышеперечисленные слойки разделены интервалами с преобладанием керогеновой (сапропелевой) массы;

ж) встречаются маломощные линзы и слойки, обогащенные пирокластикой. Мощности последних преимущественно 0,5 мм. Выделяются кристаллы полевых шпатов (плагиоклазов) не окатанных, остроугольной формы, размер 0,1–0,2 мм, нередко замещенных кальцитом или сильно пелитизированных. Матриksom является обычно бесструктурный, изотропный материал, вероятно, вулканическое стекло сильно измененное, реже криптозернистая кварц-халцедонозная масса. В более мощных прослоях крупные обломки сконцентрированы в нижней части, верхняя замещена монтмориллонитом, вероятно, развивающимся по вулканическому стеклу.

Таким образом, известковистая часть представлена как цельнораковинными формами, обычно деформированными (уплощенными), так и их обломками; известковым микритовым и шламовым материалом. В кремневых слойках как основная масса, так и биогенные компоненты замещены криптозернистой кварц-халцедонозной массой в первом случае, также и волокнистым халцедоном, выполняющим полости раковин.

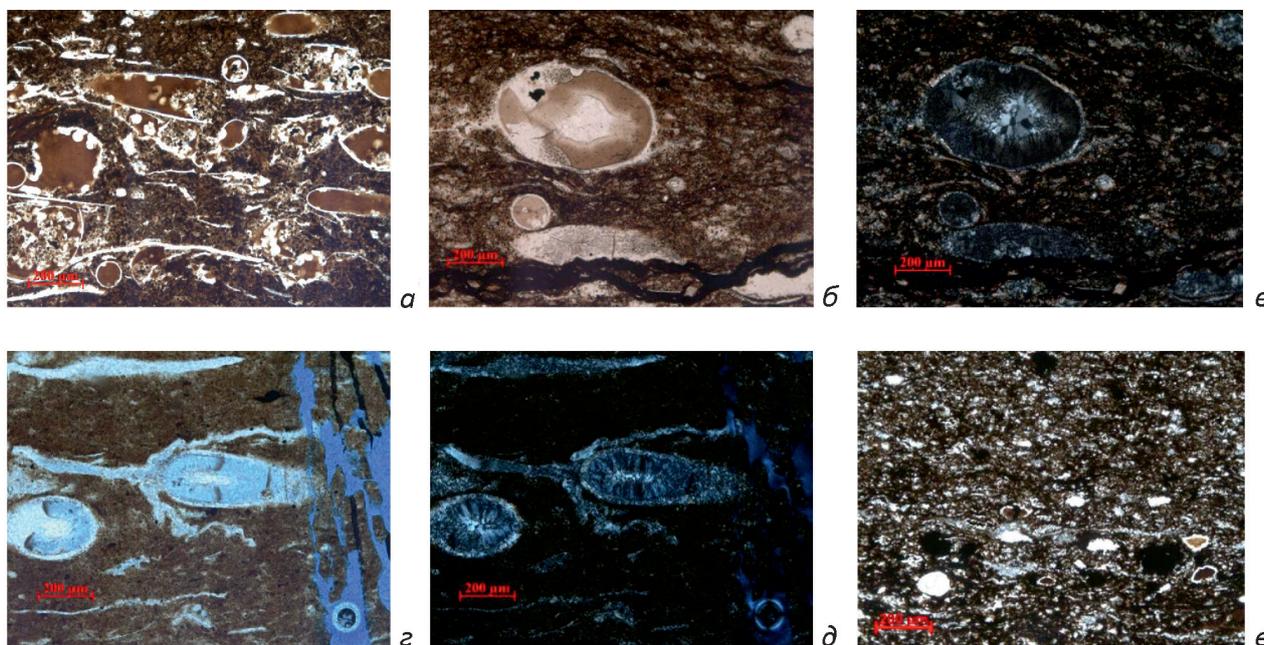


Рис. 4. Ритмы кремневые высокоуглеродистые с цельнораковинными остатками тентакулит (*a–d*) и радиолярий (*e*):

николи: параллельные (*a, б, г, e*) и скрещенные (*в, д*)

Органическая составляющая представлена сапропелевым материалом, встречаются вытянутые и изометричные фрагменты без структурного материала бурого, красно-бурого цвета. По результатам рентгено-фазового анализа (РФА) соотношение карбонатных минералов (преимущественно кальцита) и кремнезема колеблется от 32–63% до 26–71% (проценты рассчитаны без учета органического материала). В известковых и известково-кремнистых разностях содержание глинистых минералов не более 5%. В глинисто-кремнисто-известковых разностях содержание глинистых минералов: кальцита: кремнезема колеблется, соответственно, 10–22:12–56:10–30%. По данным РФА среди глинистых минералов преобладает смешаннослойный слюда–сметит, неупорядоченный, с соотношением пакетов слюды и смектита от 85:15 до 65:35%.

Для разреза характерно значительное содержание известковых стяжений размером от 1×2 см до 1,5×6 см. Границы стяжений неровные извилистые. Стяжения нередко линзовидного характера. За счет роста стяжений создается макро линзовидно-волнистая текстура, а

вмещающие тонкослоистые породы (ритмиты) окаймляют и изгибаются согласно форме стяжений. Формирование стяжений на стадии диагенеза подтверждается также формированием диагенетических «угловых несогласий», когда в стяжениях сохраняется первичная горизонтальная слоистость.

Породы сильнотрещиноваты. Выделяются: а) субгоризонтальные, параллельно слоистости как мелкие непротяженные (до 1,5 мм), так и протяженные трещины, шириной до 0,4 мм, залеченные тонковолокнистым халцедоном; б) субвертикальные (ширина до 0,05 мм) и субгоризонтальные трещины (ширина до 0,3 мм), залеченные крупнокристаллическим кальцитом; г) система трещин открытых субвертикальных, а также микростилолитовые швы, шириной от 0,05 до 0,4 мм, нередко заполненные керогеном.

По материалам статьи можно сделать следующие выводы. На этапе формирования высокоуглеродистых осадков выделяются два основных процесса:

1. «Фоновый», преимущественно биогенный, с медленными темпами седиментации сапропелевого и

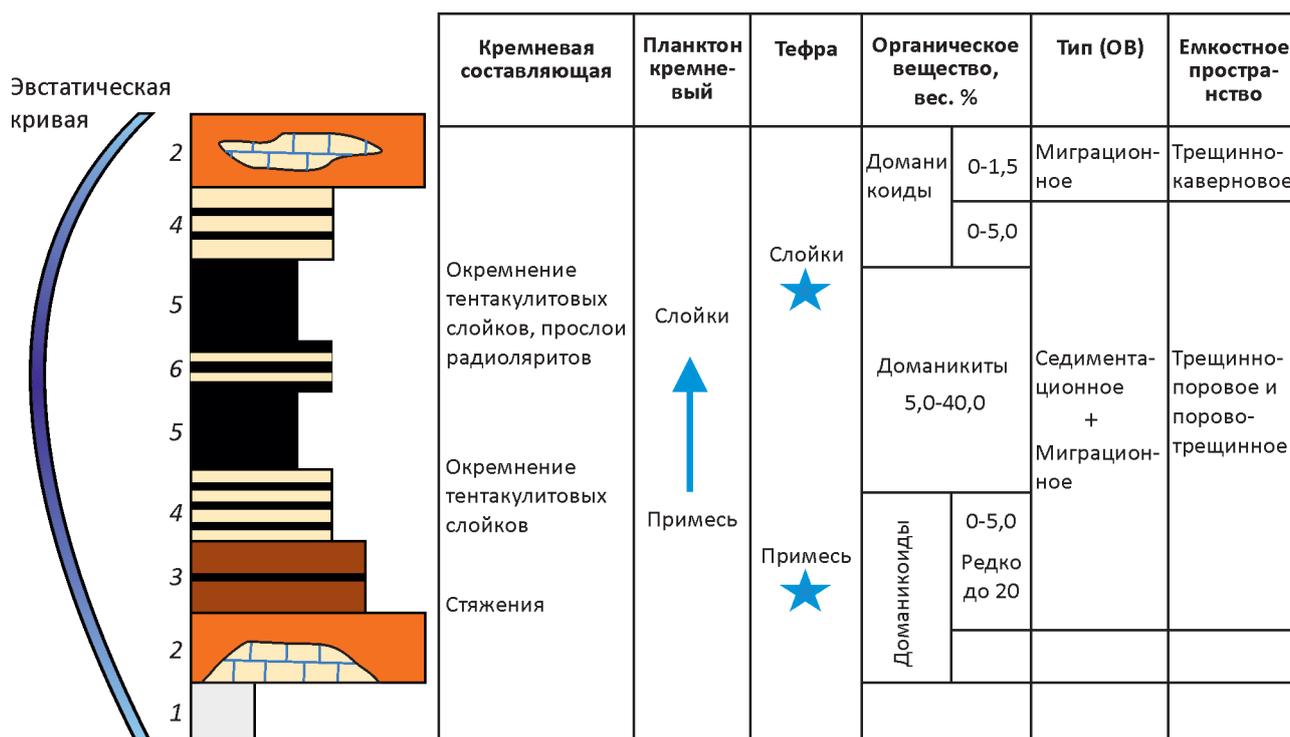
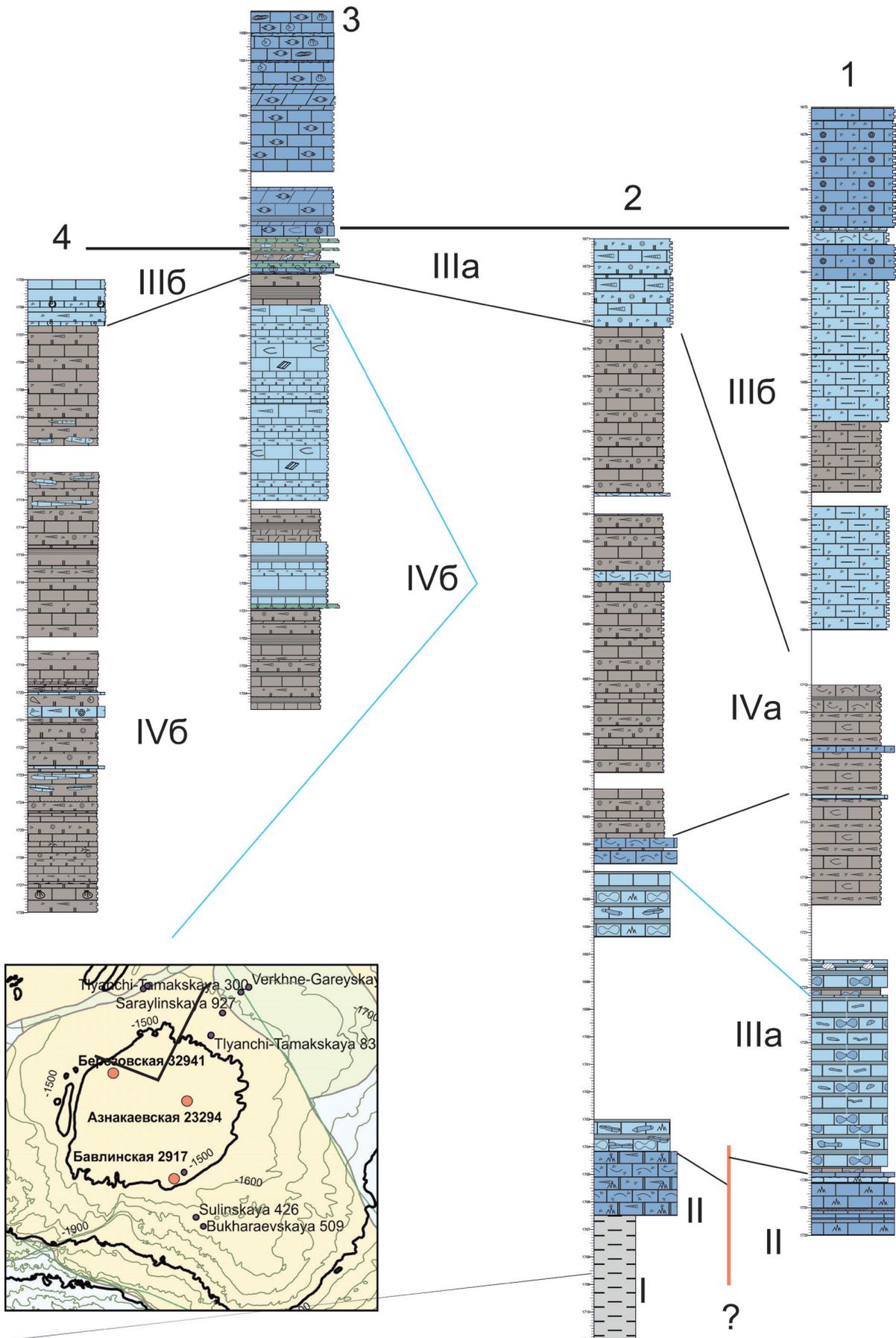


Рис. 5. Обобщенный разрез доманиковой формации. Составлен по результатам изучения отложений, вскрытых в разрезах скважин Верхне-Горейской, Тлянчи-Тамакской, Березовской и Азнакаевской площадей в пределах Южно-Татарского свода:

цифры на колонке: 1 – глины, алевритистые глины тиховодного залива; 2 – биоморфные, биокластовые известняки, доломиты карбонатной платформы; 3–4 – отложения склона депрессии: 3 – обломочные, биокластовые известняки, осадочные брекчии с редкими слоями высокоуглеродистых пород, 4 – переслаивание биокластовых, микритовых известняков углеродистых и высокоуглеродистых пород (ритмитов), преимущественно известкового состава; 5–6 – отложения депрессии, высокоуглеродистые породы смешанного состава с редкими прослоями биокластовых известняков углеродистых, преимущественно тентакулитовых, в верхней части со слоями радиоляритов



зоопланктонного (тентакулитового и радиоляриевого), в меньшей степени глинистого материала (в среднем около 5%). Обилие органического материала, пассивная динамика придонных вод являлись причиной анаэробной обстановки иловых, периодически и придонных вод. Вероятно, в этот период могла происходить массовая гибель планктоногенных тентакулит, обитавших в придонных водах. Этот процесс преобладает в центральных частях депрессий, где роль привноса эдафогенного материала с мелководных участков незначительна. Расцвет кремневого планктона, вероятно, связан с увеличением кремнекислоты, поставляемой в бассейн гидротермами и вулканизмом.

2. Катастрофический вынос гравитационными процессами карбонатного материала с внутривысокоуглеродистой платформы, спровоцированный штормовыми процессами. После накопления этих осадков создавались благоприятные аэробные условия для заселения дна бентосными организмами. Присутствие в разрезах карбонатного склона и его подножья линз и слоев обломочных известняков является обычным признаком древних эпейрогенических окраин. Формирование их связывают как с гравитационными потоками разной плотности, так и с деятельностью крупных штормов.

Соотношения этих процессов седиментации определяются как удаленностью изучаемых разрезов от точки перегиба склона, так и тектоническим и эвстатическим режимами.

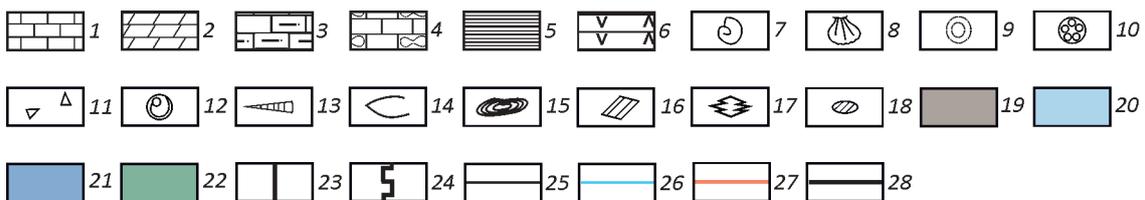
По результатам литолого-фациального анализа снизу вверх выявлена смена обстановок: *тиховодный залив*–

*карбонатная платформа (прибрежно-морская обстановка)–склон бортовой части внутришельфовой депрессии–внутришельфовая депрессия–склон бортовой части внутришельфовой депрессии–карбонатная платформа.* Разрез имеет трансгрессивно-регрессивный характер (рисунки 5 и 6).

В формирующейся впадине с расчлененным рельефом осадконакопление происходило ниже волнового и, вероятно, штормового базиса, не глубже 200 метров. Можно предположить, что в начале накопления отложенный «доманиковский» комплекс произошла структурная перестройка территории и формирование депрессии, что спровоцировало гравитационные процессы на ее склонах. Для преобладающего «фоновое» типа осадконакопления в бассейне седиментации характерны низкие темпы седиментации (некомпенсированный прогиб) сапропелевого материала. Геохимическая обстановка в придонных и иловых водах благоприятна для консервации органического вещества. Значительное содержание пирита и органического вещества в осадках указывает на восстановительный характер иловых вод.

Однако присутствие в разрезе как бентосных, так и преимущественно планктоногенных остатков позволяет предположить неустойчивое положение окислительно-восстановительного барьера относительно уровня дна бассейна.

Этот тип седиментации периодически прерывается сносом с обрамляющих поднятий (карбонатной платформы) известковой мути, планктоногенных и бентосных остатков. Объем сносимого гравитационными процессами материала разный и проявляется как в



**Рис. 6.** Схема сопоставления разрезов доманиковой формации. Составлена по результатам изучения разрезов скважин Верхне-Горейской (1), Тлянчи-Тамакской (2), Азнакаевской (3) и Березовской (4) площадей Южно-Татарского свода:

*породы:* 1 – известняк, 2 – доломит, 3 – известняк алевритистый, 4 – известняк обломочный, 5 – глины, 6 – вулканокластита; *биогенные компоненты:* 7 – аммониты, 8 – двусторки, 9 – радиолярии, 10 – криноидеи, 11 – биогенный шлам, 12 – водоросли, 13 – тентакулиты, 14 – остракоды, 15 – строматолиты, 16 – трудноопределимые остатки фауны; *вторичные изменения:* 17 – каверны, 18 – окремнение; *преобладание пород:* 19 – высокоуглеродистых, 20 – карбонатных углеродистых и 21 – карбонатных, 22 – примесь пирокластического материала; *границы:* 23 – грубое переслаивание, 24 – ритм, тонкое переслаивание слоев глинистого, известкового и кремневого составов; 25 – границы макрофаций; 26 – фаши; 27 – разломы; 28 – линия профиля; *цифры на колонке:* I – глины, алевритистые глины тиховодного залива, II – биоморфные, биокластовые известняки, доломиты карбонатной платформы, III – углеродисто-карбонатные отложения склона депрессии, IIIa – обломочные, биокластовые известняки, осадочные брекчии с редкими слойками высокоуглеродистых пород, IIIb – переслаивание биокластовых, микритовых известняков углеродистых и высокоуглеродистых пород (ритмитов), преимущественно известкового состава, IV – высокоуглеродистые отложения смешанного состава депрессии, IVa – высокоуглеродистые породы смешанного состава с преобладанием планктоногенных остатков известкового состава (тентакулит), IVb – высокоуглеродистые породы смешанного состава с планктоногенными остатками известкового (тентакулит) состава и кремневыми остатками (радиоляриями)

виде шламовой ракушняковой примеси, так и в виде формирования миллиметровых известковых линз и слойков или в виде прослоев биокластовых известняков толщиной до 20 см. Можно предположить, что увеличение периодов с преобладанием «фоновой» садки высокоуглеродистых пелитоморфных осадков связано с трансгрессией (или тектоническим погружением впадины) и, соответственно, увеличением расстояния от поднятия, откуда привносился шламовый и микритовый известковый материал.

В заключение следует отметить, что на формирование высокоуглеродистого комплекса оказывало влияние две группы факторов: седиментационные и постседиментационные. К первой группе относятся биогенные процессы, проявляющиеся в осаждении сапропелевых, известковых (тентакулитовые) и кремневых (радиоляриевые) илов. Высокая биопродуктивность приводила к накоплению высокоуглеродистых осадков разного состава, от чистых сапропелевых до известковых и кремнистых, с преобладанием смешанных сапропель-известковых, глинисто-сапропель-известковых, сапропель-кремнистых и сапропель-кремнисто-известковых. Геохимическая обстановка в придонных и иловых водах и низкие темпы седиментации были благоприятны для консервации органического вещества.

Более высокие темпы седиментации в краевых частях депрессий обусловлены механогенными процессами – привносом преимущественно известкового

материала гравитационными потоками с обрамляющих поднятий и переотложением планктоногенных сапропелевых илов. К постседиментационным процессам относятся процессы раннего окремнения и карбонатизации. Сочетание вышеперечисленных процессов обуславливает формирование различных типов разрезов высокоуглеродистых комплексов в разных частях бассейнов: в краевых – доманикоидного, в центральных – доманикитного типов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология и геохимия нефти и газа* / О.К.Баженова, Ю.К.Бурлин, Б.А.Соколов, В.Е.Хаин. – М.: Изд-во МГУ, 2004.
2. *Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли.* – С-Пб: ВНИГРИ, 2007.
3. *Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна* / А.В.Ступакова, Н.П.Фадеева, Г.А.Калмыков и др. // *Георесурсы.* 2015. № 2(61). С. 77–86.
4. *Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов* / В.Н.Шванов, В.Т.Фролов, Э.И.Сергеева и др. – С-Пб: Недра, 1998.
5. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев.* – Л.: Наука, 1988.
6. *Япаскурт О.В. Литология.* – М.: Изд. центр «Академия», 2008.

## Щелочной и кимберлитовый метасоматоз в истории Земли

В.И.ПУЗАНОВ

Сделан вывод о том, что мантия всегда однородная и примитивная, не хондритовая и не деплетированная. Результат плавления мантии – толеитовые базальты. Плавление сопровождается мантийным флюидом. Основание компонента  $K_2O$  запускает щелочной процесс, в результате которого проявляются кислотно-основные свойства флюида с образованием гранитоидов, в том числе и щелочных пород. Кимберлиты образуются в карбонатной среде в результате скарнового процесса под влиянием раскалённого расплава базальтов и сопутствующего мантийного флюида.

*Ключевые слова:* плавление мантии, изотопные отношения, мантийный флюид, происхождение щелочных пород, образование кимберлитов.

Пузанов Владимир Иванович



geopvi@gmail.com

## Alkaline and kimberlite metasomatism in the Earth history

V.I.PUZANOV

It is concluded that the mantle is always homogenous and primitive, non-chondrite and non-depleted. Mantle melting results in tholeiitic basalt formation. Melting is accompanied by a mantle fluid.  $K_2O$  component base generates alkalinization, a process demonstrating acid-basic fluid properties and forming granitoids including alkaline rocks. Kimberlites are formed in carbonate environment as a result of skarning influenced by incandescent basalt melt and associated mantle fluid.

*Key words:* mantle melting, isotope ratios, mantle fluid, the origin of alkaline rocks, kimberlite formation.

Большинство исследователей считают, что одно из важнейших фундаментальных свойств мантии, определившее характер и эволюцию магматизма и металлогении в течении геологического времени – вещественная гетерогенность мантии Земли. В доказательство этому приводят наличие различных магматических провинций, которые образовались якобы за счёт частичного плавления мантии и мантийного метасоматоза, такие, как щелочного и карбонатитового магматизма [6, 22]. Считается, что частичное плавление мантийного субстрата сопровождается подвижными расплавами-флюидами, активно реагирующими с мантийной матрицей. «В результате мантийной миграции этих флюидов возникают обогащенные резервуары – источник щелочного и карбонатитового магматизма, а также редкометалльных месторождений» [6, с. 60].

Исходя из сказанного, в ходе плавления мантия должна была со временем терять лёгкие компоненты ( $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ) и превращаться в деплетированный субстрат, из которого в настоящее время должны выплавляться только высокомагнезиальные, обеднённые редкими элементами, расплавы. Но этого не происходит. Напротив, увеличивается количество щелочных и карбонатитовых пород (рис. 1). Изливали в архейское

время вулканы толеитовую магму и изливают её по настоящее время. Никакой дифференциации и частичного плавления в мантии нет. В своё время ещё Т.Ф.Барт, изучая непрерывное излияние базальтовых, в основном толеитовых, магм Гавайских островов и критикуя кристаллизационную дифференциацию Н.Боуэна, восклицает: «И что же!» [25, с. 205]. Никакой дифференциации Т.Ф.Барт не увидел. Изливали гавайские вулканы толеитовую магму миллионы лет назад, изливают её и сейчас. Приводя расчёты с балансом натрия в осадочных породах и океане, Т.Ф.Барт приходит к выводу, что любая кристаллическая порода несколько раз прошла через осадочный цикл. Осадочная дифференциация даёт гораздо более контрастные результаты, а «плавильный котёл» ведёт скорее к гомогенизации вещества, чем его дифференциации. «Таким образом, я закончу, – говорит Барт, – высказыванием, заключающим, как я полагаю, истину, которая консервативными геологами будет названа парадоксом: возникновение изверженных пород обусловлено осадочными процессами» [25, с. 205]. И это так, все изверженные породы, кроме толеитовых базальтов, имеют связь с осадочными процессами. Только осадочная дифференциация вещества способна разделить изверженные породы на отдельные состав-

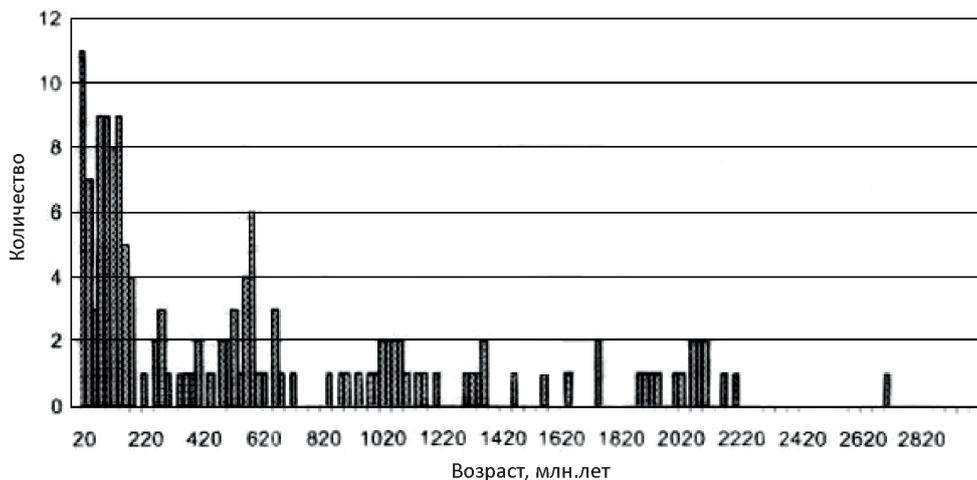


Рис. 1. Распределение интенсивности карбонатитового магматизма в истории Земли [6]

ляющие компоненты и элементы, столь необходимые для образования полезных ископаемых. Только осадочные бассейны, в которых создаются определённые геохимические условия накопления и разделения пород на составляющие минералы и элементы, способны создавать минерагенические провинции. Только сложные процессы осадочной, метаморфической и метасоматической перегруппировки вещества этих осадочных бассейнов могут создать так называемые «магматические провинции».

И.Д.Рябчиков [22], Л.Н.Когарко [6] и многие другие считают, что петрохимический состав мантии отвечает петрохимическому составу так называемых мантийных ксенолитов и щелочных окисленных расплавов, которые выносятся вулканами таких островов, как Триндади (Бразилия), Фернандо ди Норонья (Бразилия), Монтана Клара (Канары), Буве, Гавайские, Галапагос и др. Все эти острова в основании имеют фрагменты и даже целые блоки континентальной коры, глубоко опущенные в мантию, а вулканические постройки нарастили фрагменты этой коры с выходом на поверхность океанов [17, 18]. Ксенолиты этих островов, по составу отвечающие перидотитам, гранатовым перидотитам, пироксенитам, эклогитам, карбонатитам, а также их аналогам – амфибол- и флогопитсодержащим породам, являются фрагментами этой континентальной коры или результатом взаимодействия флюидов и толеитовой магмы с породами основания коры.

В связи со сказанным большое значение имеют экспериментальные исследования в области глубинного петрогенезиса, проведённые в 1976 г. коллективом авторов института физики Земли (В.А.Ермаковым и др.) [28]. В опытах были подвергнуты плавлению амфиболовое габбро, полевошпатовый амфиболит и гиперстен-амфиболовый сланец (гранулит), представ-

ляющие наиболее широко распространённые включения в андезитах вулкана Безымянный из Ключевской группы вулканов на Камчатке. По химическому составу амфиболовое габбро и полевошпатовый амфиболит отвечают толеитовым базальтам, а гранулит – оливновым базальтам. В опытах использовалась аппаратура высокого давления и метод закалки. В ходе работ были изучены составы стёкол, образовавшихся при различной степени плавления, и особенности процесса плавления пород (соотношения температур солидуса и ликвидуса, характер появления жидкости, изменение в составе кристаллических фаз, структурные изменения и др.). Здесь необходимо отметить, что все опыты проходили в закрытой системе с повышением температуры от 900° до 1250°С и давления от 250 до 3000 МПа.

Прежде всего, следует обратить внимание на то, что ещё до начала плавления при температуре меньше 900° от породы отделяется высококонцентрированный флюид в основном в составе воды, кремния и калия и, по-видимому, небольшого количества алюминия ( $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ ). Флюид развивается в виде плёнок по трещинкам и в интерстициях между зёрнами в породе, затем переходит в расплав, затвердевая в стёклах. «Обращает на себя внимание тот факт, что состав включений стекла вблизи солидуса оказывается тождественен составу стекла из зоны ликвидуса. Это свидетельствует о высокой скорости установления равновесного состояния (под действием флюидов), приводящего к выравниванию концентраций таких составляющих, как Fe, Mg, K и т.п., при развивающемся плавлении» [28, с. 16–26], замечают авторы. Натрий до плавления и в начале плавления, когда температура ещё низкая, в раствор–расплав не поступает. Инертность Na обусловлена фиксацией этого элемента в кристаллической решётке плагиоклаза. В противоположность

натрию, калий и часть кремния свободно мигрируют в флюид, а затем в расплав, не будучи связаны с образованием какой-нибудь кристаллической фазы.

При развивающемся плавлении Fe и Mg, поступающие в раствор–расплав, образуют парагенезисы с пироксеном (Px), клинопироксеном (Cpx), ортопироксеном (Opx), оливином (Ol) и магнетитом (Mt): Cpx+Opx+Mt, Px+Ol+Mt или Ol+Px. Изучение состава стёкол показывает, что из амфиболитовой и гранулитовой коры исследованные породы могут образовывать расплавы варьирующего состава от базальтов до андезитов, возможно, до дацитов. Базальты образуются при высоких степенях плавления (50–75%). Андезиты и андезито-базальты образуются в широком температурном интервале при различных степенях плавления. В расплавах базальтового и андезитобазальтового состава, полученного из амфиболового габбро и полевошпатового амфиболита, образуются нодулы или рести-ты троктолита или алливалита (плагноклаз+оливин), причём оливин начинает ассоциировать с плёнками стекла, что, по-видимому, связано с появлением оливина в мантийных толеитовых базальтах. В гранулите преобразование амфибола предшествует плавлению, при этом образуется ассоциация типа перидотитов или лерцолитов с бластовыми структурами минеральных выделений. При плавлении полевошпатовых амфиболитов в условиях повышения температуры и давления вблизи солидуса и ликвидуса по плагноклазу развивается гранат и пироксен.

Авторы считают, что в преобразовании расплава большую роль играет флюид и миграция летучих, приводящих к изменению химического состава и  $P$ - $T$  условий существования магмы. Поэтому в «колонне магмы» вулкана Безымянный, имеющего состав от базальта до андезита, «...происходит миграция летучих в её верхнюю часть, приводящая к изменению здесь химического состава и  $P$ - $T$  условий существования магмы. Здесь может происходить формирование насыщенной флюидами магмы, весьма агрессивной по отношению к внешней среде» [28, с. 57]. Таким образом, авторы показали, что путём плавления субстрата коры и взаимодействия флюидов с расплавом и корой возможно образование выплавов ультрабазитов и известково-щелочной серии магм.

Экспериментальные работы по плавлению основных пород проводились в закрытой системе, где создавались условия повышающихся в течение опыта температуры и давления. Исходный флюид уходил в расплав. В природных условиях система открыта. Мантия плавится с понижением давления и температуры, которые никогда не превысят давление и температуру точки начала плавления. Поэтому флюид, отделяясь от мантии, следует вверх и взаимодействует с расплавом и боковыми породами коры.

Основу всех излившихся вулканических пород составляют базальты. До 90% всех базальтов вулканичес-

ких построек континентальных плато, океанических островов, глубоководных впадин и СОХ, основных поставщиков мантийного вещества – толеитовые базальты. Толеитовые базальты всех геодинамических обстановок относительно однородные и не имеют значимых различий по петрохимическому составу и элементным и изотопным соотношениям. Состав толеитовых базальтов также не зависит от времени и глубины очагов излияния. Всё это предполагает однородный состав мантии.

Мантия участвует в образовании коры. Данные сейсмоотографии и масс-балансовые расчёты показывают, что в образовании коры должна участвовать вся мантия, отвечающая однородному не хондритовому и не деплетированному резервуару примитивной мантии с современными изотопными отношениями  $Sm/Nd=0,350$  и  $E_{Nd}=+9$ . Такой вывод вытекает из работы Ю.А.Костицына [10].

Этим параметрам и отвечают толеитовые базальты, составляющие основу петрохимического состава всегда однородной и примитивной мантии без значимых признаков мантийной дифференциации. Все другие вариации элементных и изотопных отношений, а также вариации петрохимических составов всех других вулканических пород связаны с флюидно-коровыми процессами, как это следует из экспериментальных работ [28].

Анализ рисунка из работы Ю.А.Костицына [10] показал, что точки, относящиеся к толеитовым базальтам разных по времени и глубине очагов излияния, занимают самое верхнее устойчивое положение на графике. Также видно, что точки всех разновременных базальтов располагаются по дуге. Это, по-видимому, связано с одновременным влиянием векторов мантийного флюида и коры, распределивших точки по кругу. Сначала большее влияние оказывает вектор мантийного флюида. Он группирует точки, по изотопным отношениям отвечающие щелочным базальтам и базальтам NIMU. Затем всё большее влияние на изотопное отношение оказывает океаническая кора, группируя точки щелочных базальтов, занимающих более обширное поле, приближаясь к океанической коре, которая, в свою очередь, приближается к среднему значению континентальной коры и, таким образом, образуется полукруг группирующихся точек. Следовательно, от толеитовых базальтов под влиянием мантийного флюида и коры возникают различные по времени и глубине очагов излияния, различные по изотопным отношениям, разности базальтов. Такое постепенное уменьшение роли мантийного флюида и увеличение роли коры можно, по-видимому, объяснить только плавлением мантии в виде толеитовых базальтов, определивших состав всегда примитивной мантии с современным изотопным отношением  $Sm/Nd=0,350$  и  $E_{Nd}=+9$ . Из всего этого следует, что магматической и метасоматической дифференциации и частичного плавления в мантии не существует. Мантия плавится одноактно целиком и полностью. Продукт плавления – толеитовый базальт.

Плавление мантии и извержение толеитовых базальтов сопровождается высвобождением из мантии того самого флюида –  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ , который в экспериментах по плавлению коры в закрытой системе, отделяясь от породы, переходит в расплав и затвердевает в стёклах [28]. Впервые представление о глубинных флюидных потоках, «колонах фильтрации» восходящих растворов, предложил французский геолог П.Термье в 1910 г. Затем эти представления о глубинных (подкорковых) флюидных потоках последовательно развиваются в трудах Д.С.Коржинского [7–9], позднее в работах А.А.Маракушева [13, 16] и И.А. Зотова [5]. Д.С.Коржинским эти растворы, несущие  $H_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  и другие подвижные компоненты, названы «сквозьмагматическими» или «транзмагматическими», которые следуют из более низких горизонтов, диффундируя через гранитную магму. Происхождение таких растворов связывается с общими проблематичными процессами глубинной дегазации Земли. В настоящей работе рассматривается мантийный флюид, который отделяется от мантии в результате её плавления.

В открытой системе, отделяясь от мантии, флюид сразу же переходит в гомогенно-газовое состояние. Все компоненты флюида находятся в диссоциированном или частично диссоциированном состоянии. Двуокись кремния (кремневый ангидрид) присутствует во флюиде в виде ортокремневой ( $H_4SiO_4$ ) или метакремневой ( $H_2SiO_3$ ) кислоты, которая диссоциирует на ионы  $H^++H_3SiO_4^-$  или  $H^++HSiO_3^-$ . Окись алюминия присутствует в виде гидрата окиси алюминия ( $Al(OH)_3$ ) или алюминиевой кислоты ( $H_3AlO_3$ ). Гидрат окиси алюминия является амфотерным и может действовать или как слабое основание, или как слабая кислота и поэтому как гидрат окиси диссоциирует на ионы  $Al^{+++}+3HO^-$ , а как кислота – на ионы  $H^++H_2AlO_3^-$ . Окись калия в флюиде сразу переходит в гидрат окиси калия и как сильное основание полностью диссоциирует на ионы  $K^++HO^-$ . Тогда формула флюида может выглядеть так:  $H^++HO^-+H^++HSiO_3^-$  (или  $H^++H_3SiO_4^-$ )+ $K^++HO^-$ + $H^++H_2AlO_3^-$  (или  $Al^{+++}+3HO^-$ ). Для простоты условно будем пользоваться первым вариантом формулы флюида. Находясь под глубинным давлением и температурой, «...такая надкритическая фаза водных растворов, приближаясь по агрегатному состоянию и плотности к жидкости, сохраняет главное свойство газа – летучесть, обуславливающую его поведение, резко отличное от обычной жидкой воды, поэтому отождествлять жидкости надкритическую и докритическую, как это, к сожалению, делают некоторые исследователи, ошибочно» [15, с. 26]. Все компоненты флюида, в том числе и сопутствующие редкие элементы, в гидротермальных условиях переносятся в виде полимерных соединений катионного, анионного или смешанного типа. Такой флюид и сопутствующие редкие и другие некогерентные элементы в открытой системе следуют вверх, взаимодействуют с боковыми породами в верхних горизон-

тах коры, осуществляя интенсивную перегруппировку вещества с последующим образованием гранитного слоя коры и месторождений полезных ископаемых.

Образование гранитного слоя начинается с момента, когда падение температуры и давления следующего вверх мантийного флюида  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$  достигнет значений, при которых начнёт кристаллизоваться порода гранитного состава. Для гранитных массивов, приближенных к поверхности Земли, температура составляет  $750^\circ-850^\circ$  и давление  $1,0-1,5 \cdot 10^8$  Па [19, 20]. Во время формирования гранитов возникает зональность, которую можно представить в виде метасоматической колонки (рис. 2).

Образование зональности гранитоидов связано с последовательностью формирования фациальных разновидностей пород от кислых к основным по пути следования породообразующего раствора [21]. Это отвечает геохимической эволюции вещества при последовательной смене активности сильных оснований более слабыми основаниями, что соответствует ряду активности оснований:  $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-Fe_2O_3$ . Основание  $K_2O$  и кислота кремневого ангидрида  $SiO_2$  являются самыми мощными факторами мантийного флюида. Эти два компонента начинают гранитизацию, взаимодействуют с субстратом коры и осуществляют перегруппировку вещества с образованием гранита. Кремний необходим в системе для образования вместе с алюминием анионной части породообразующих минералов фациального ряда. Калий образует сильное основание, являющееся самым важным фактором гранитизации. Он запускает щелочной процесс, в результате которого проявляются кислотно-основные свойства оснований. Формирование гранитов связано с активностью поступающего с мантийным флюидом сильного основания  $K_2O$ , которое формирует катионную часть главных породообразующих минералов и вытесняет из области кристаллизующихся гранитов относительно более слабые основания Na, Ca, Mg, Fe и другие некогерентные элементы, переводя их в раствор. С уходом из раствора  $K_2O$  повышается активность основания  $Na_2O$ , что способствует формированию средних разновидностей – диоритов. Высокая активность CaO способствует формированию габброидов. Кристаллизация магниезальных и железистых пород связана с высокой активностью MgO, FeO,  $Fe_2O_3$  [21].

При продвижении фронта гранитизации разрастание тыловых зон (фаций) метасоматической колонки происходит за счёт внешних, что приводит к замещению гранодиорита зоной гранита, зоны диорита зоной гранодиорита и т.д. [21]. По мере продвижения породообразующего раствора более основные породы замещаются более кислыми или щелочными, если в растворе недостаток кремнезёма. Ослабление роли кремния приводит к усилению щелочных свойств раствора. Ослабляются кислотные и усиливаются основные свойства силикатов, что приводит к вытесне-

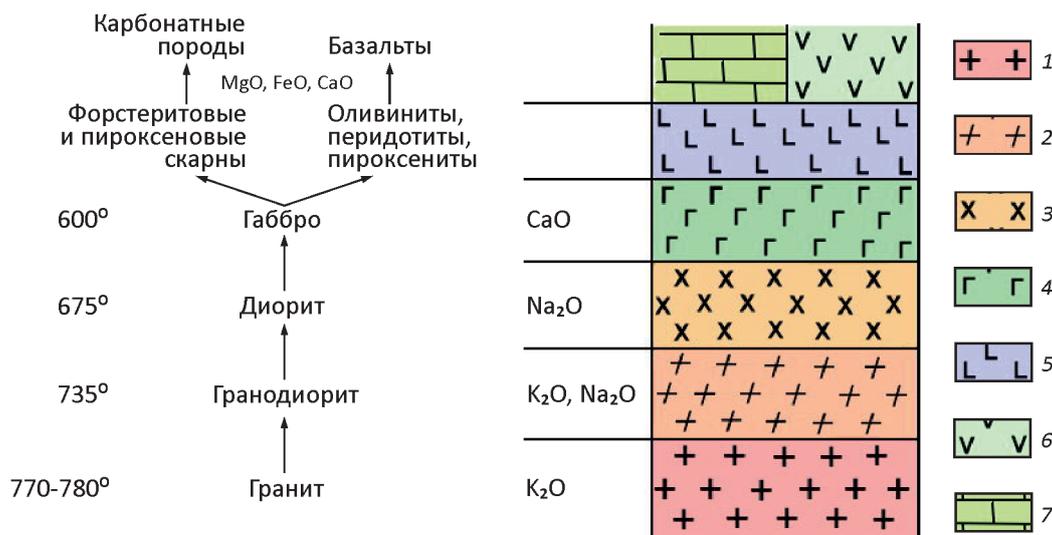


Рис. 2. Метасоматическая колонка зональности гранитоидов:

1 – граниты; 2 – гранодиориты; 3 – диориты; 4 – габбро; 5 – форстеритовые и пироксеновые скарны, оливиниты, перидотиты, пироксениты; 6 – базальты; 7 – карбонатные породы;  $K_2O-Na_2O-CaO-(CaO)$ ,  $MgO, FeO$  – ряд активности оснований оксидов; 770°, 735°, 675°, 600° – средние температуры кристаллизации гранитоидов [19, 20]; стрелками показано направление следования мантийного флюида ( $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ )

нию слабых катионов (Mg, Fe) более сильными (K, Na) и замещению пироксена и оливина ортосиликатами и щелочными алюмосиликатами. Активность кремнезёма зависит от концентрации его в растворе. В зависимости от щёлочности среды находится не только активность катионов, определяющих состав образующихся минералов, но и тип кремнекислородных радикалов [3].

При тектонических подвижках зоны  $K_2O$  и  $Na_2O$  напрямую взаимодействуют с конечными продуктами метасоматической колонки – оливинитами, перидотитами и пироксенитами либо форстеритовыми и пироксеновыми скарнами. В результате взаимодействие высокотемпературных щелочных растворов с пироксеном и оливином (форстеритом) отвечает процессам нефелинизации и флогопитизации ультрабазитов. Образуются щелочные породы – щелочные сиениты, нефелиновые сиениты, нефелин-пироксеновые породы, мельтейгиты, ийолиты, лампроиты и др. Экспериментальные данные подтверждают «...что при инфильтрации щелочных растворов в зоне контакта контрастных по основности пород – ультрабазитов и гранитогнейсов возникают различные парагенезисы метасоматических минералов (колонки нефелинизации по ультрабазитам и фенитизации по гранитогнейсам)» [3, с. 89].

Проблема генезиса щелочных пород в значительной степени связана с решением вопросов образования нефелина – наиболее характерного минерала этих пород. Долгое время в геологической литературе нефелин рассматривался обычно как типичный магматогенный

минерал. Поэтому сам факт наличия нефелина в породе принимался как важнейший довод образования этой породы путём магматической кристаллизации. Этому в большей степени способствовали данные экспериментального изучения условий кристаллизации «сухих» силикатных щелочных расплавов, свидетельствующие о выделении нефелина при температуре порядка 1100°–1200°С [27].

Позднее выяснилось, что в щелочных породах нефелин образуется в процессе высокотемпературного щелочного метасоматоза – нефелинизации ультрабазитов. Характерная черта нефелинизации – привнос не только щелочей K и Na, но также и алюминия, практически отсутствующего в первичных породах. Совместное нахождение изменённых базальтов в некоторых комплексных массивах, морфологические особенности кольцевых структур центрального типа и примерные глубины заложения центров массивов свидетельствуют о том, что формирование щелочных метасоматитов происходило в субвулканических условиях, на сравнительно небольших глубинах, часто около 1–3 км [1–3]. Такой глубине соответствует литостатическое давление  $1,0-1,5 \cdot 10^8$  Па.

Так как генезис щелочных пород является во многом дискуссионным, то представляется целесообразным привлечение данных экспериментальной петрологии. Однако, как уже отмечалось, эти данные в основном относятся к силикатным расплавам в закрытой системе и мало приложимы к случаю процессов щелочного

метасоматоза. Поэтому многие исследователи, оставаясь на позиции мантийного магматизма или мантийного метасоматоза, приводящих якобы к возникновению обогащённых резервуаров – источников щелочных и карбонатитовых магм, склонны к слову «расплав» прибавлять слово «флюид», «метасоматизирующий расплав-флюид» [6]. На основании проведённых исследований Л.С.Бородин и Ю.П.Диков [3] доказали, что при воздействии на оливин и пироксен щелочных высокотемпературных растворов при  $T=550^\circ$  и  $P=1,2 \cdot 10^8$  Па образуются нефелин и флогопит метасоматическим путём. В природных условиях таким раствором является мантийный флюид  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ , который реагирует с оливином и пироксеном по схеме, предложенной выше. Поэтому не стоит для образования щелочных пород привлекать «обогащённые резервуары-источники щелочных и карбонатитовых магм», которые якобы являются «родителями» расплавов-флюидов.

Процессы образования карбонатитов завершают формирование массивов нефелиновых сиенитов и кольцевых комплексов ультраосновных щелочных пород. Как видно из рис. 1, в процессе эволюции Земли происходит непрерывное нарастание карбонатитовых пород, возрастает и мощность щелочных формаций в течении геологического времени [6]. Параллельно нарастает мощность карбонатных пород, образование которых началось в раннем архее. Появление щелочных пород и карбонатитов заметно увеличивается с рубежа 2,8 млрд. лет. В это время сформировалась кислородная атмосфера Земли в основном за счёт деятельности живых организмов и диссипации водорода в Космос [30]. Под влиянием кислородосодержащей атмосферы на этом рубеже произошло образование окисленных морских осадков – джеспеллитов и резко увеличилось накопление карбонатных пород и образование карбонатитов. Увеличивающаяся роль карбонатов с течением геологического времени и их метасоматическая переработка в коре «in situ» является причиной увеличения карбонатитов, а не за счёт субдукции в мантию океанической и континентальной коры и образования мантийных резервуаров щелочных и карбонатитовых магм, как пытаются объяснить образование этих пород Л.Н.Когарко, А.Хофман и др. [6, 29, 31 и др.]. Такой глобальной субдукции океанической и континентальной коры никогда на Земле не было. Глобальной тектоники плит не существует, «... происходил не дрейф континентов, а постепенное раздвигание их по мере увеличения земного радиуса» [25, с. 269]. Земля, расширяясь, увеличивалась в объёме за счёт увеличения (расширения) океанической мантии в срединно-океанических хребтах, которая надвигалась вместе с океанической корой на блоки континентальной коры, опущенные в мантию. Впоследствии блоки поднимались и, таким образом, континентальная кора наращивалась, а не подвигалась [17]. К интервалу 2,8 млрд. лет кора уже была мощная трёхслойная, многократно перерабо-

танная процессами гранитизации. Возможно, геологи не находят древних щелочных и карбонатитовых пород, поскольку они были вовлечены в процессы гранитизации и вместе с другими осадочными, магматическими и метасоматическими породами превращены в гранитогнейсы и гранулиты.

Зачем привлекать надуманную «глобальную субдукцию» океанической и континентальной коры, чтобы за счёт плавления коры, а также за счёт частичного плавления мантийного субстрата и образовавшегося мантийного расплав-флюида создавать «резервуары щелочных, карбонатитовых и кимберлитовых магм»? Многочисленные петролого-геохимические и изотопные исследования говорят за самостоятельный мантийный поток таких флюидов. Высокотемпературный флюид –  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$  отделяется от мантии ещё до плавления толеитовых базальтов и несёт с собой редкие и другие, некогерентные элементы. Проходя сквозь 40-километровую толщу коры, флюид дополнительно обогащается редкими элементами и взаимодействует с «ультраосновным» и карбонатным субстратом коры по схеме, предложенной выше (см. рис. 2). Исследования изотопных систем кимберлитов (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb, Lu-Hf) показали, что кимберлиты 1 группы имеют некоторые мантийные характеристики. Результаты исследований соотношений и изотопии благородных газов Ar, Xe, Ne и галогенов Cl, J, Br в оболочечных и волокнистых алмазах, содержащих огромное количество микровключений солевых флюидов, показали, что соотношения Ar40/Cl, Br/Cl, J/Cl, Ar40/36, Ar38/36, Xe136/130, Ar38/Ar36 в вытяжках аналогичны соотношениям в MORB [6]. Это как раз и доказывает, что на образование кимберлитов и изотопные отношения в изменённых алмазах оказывает влияние толеитовый расплав и сопутствующий мантийный флюид –  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ . Высокое содержание во включениях в алмазе  $K_2O$ , равное 18,1–21,4% [32], при незначительном количестве Na (2,2–3,0%), подтверждает наличие того самого мантийного флюида, который способствует образованию кимберлитов, а также щелочных пород и карбонатитов.

Проблема происхождения кимберлитов связана с проблемой генезиса алмазов, ультраосновных и карбонатитовых пород. За многолетний период исследования кимберлитов собран и обобщён огромный фактический материал по минералогии этих интереснейших образований. Высказано ряд гипотез образования кимберлитов и заключённых в них алмазов, но все они так или иначе связаны с расплавом кимберлитовой магмы. Либо они связаны с взаимодействием кимберлитовой (ультраосновной) магмы и сопутствующих растворов с вмещающими карбонатными породами [14], либо с промежуточными очагами кимберлитовой магмы [4, 25], либо кимберлит представляет гибридную породу, формирующуюся в результате ассимиляции и механического захвата глубинной ультраосновной магмой

продуктов дифференциации первичного вещества Земли [11].

В XXI в. исследователи продолжают создавать гипотезы магматического происхождения кимберлитов и алмазов. В 2005 г. В.С.Шкодзинский и А.И.Зайцев привели убедительные доказательства, противоречащие гипотезе ксеногенного происхождения алмазов, но предложили гипотезу формирования алмазов и кимберлитов на глубинной стадии эволюции магм путём плавления «перидотитового слоя постаккреционного расслоенного магматического океана» [26]. В 2010 г. Ю.А.Литвин предложил новую мантийно-карбонатную концепцию (гипотезу) генезиса алмаза [12]. Гипотеза «...обоснована данными аналитической минералогии сингенетических включений в природных алмазах и результатами физико-химического эксперимента при высоких давлениях и температурах на основе критерия синтеза алмаза и ростовых включений в нём» [12, с. 208]. Работа имеет большое научное и практическое значение, но остаётся неясным, откуда в мантии столько карбоната, если в мантии всего 0,035%  $\text{CO}_2$  [23]. Ю.А.Литвин справедливо утверждает, что алмаз кристаллизуется в среде «лабильного пересыщения» углерода к алмазу как в эксперименте, так и в природных условиях, но совершенно не обсуждается, откуда в мантийном расплаве такая большая концентрация углерода. По самым оптимальным подсчётам содержание углерода в мантии 0,013% [23].

Анализ литературных данных показывает в полной мере сложность происхождения кимберлитовых пород и находящихся в них минералов. Необходимо иметь в виду характерные особенности зарождения кимберлитов и алмазов, которые должны быть положены в основу любой концепции. Автор разделяет взгляд Е.Е.Лазько [11] на некоторые характерные особенности кимберлитов.

1. Двойственная природа кимберлита: серпентин-кальцитовый цемент и широкий ряд минералов высоких давлений и температур, заключённых в нём. Обладание кимберлита признаками ультраосновных и основных щелочных пород.

2. Резко различный абсолютный возраст основной массы, с одной стороны, и глубинных ксенолитов, а также минералов вкрапленников, с другой стороны, плюс различные изотопные характеристики главных элементов кимберлита.

3. Алмазоносность кимберлитовых пород.

4. В области термодинамической неустойчивости под действием окислителей происходит быстрое образование алмаза.

5. В кимберлитах присутствуют первичные минералы главных ассоциаций: хромовой, эклогитовой и титановой, причём алмазы парагенетически связаны с первыми двумя.

6. Большинство минеральных ассоциаций (если не все), известных в кимберлитах, не связано с алмазами

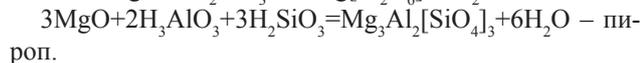
парагенетическими соотношениями и кристаллизуются при более низких термодинамических параметрах.

Большинство перечисленных особенностей природы кимберлитов напоминают не признаки ультраосновных и основных щелочных пород, а влияние осадочной среды, то есть наличие карбонатных пород и органических соединений. Минералогические исследования сингенетических включений в природных алмазах показали, что материнская среда, то есть кимберлитовая среда, в которой формировались алмазы, является гетерогенной. Её фазовый состав определяют силикаты, алюмосиликаты, оксиды, сульфиды, карбонаты, фосфаты, хлориды, карбиды, металлы, вода, угольная кислота, метан и некоторые другие. Соответственно, компонентный состав материнской среды представлен оксидами Mg, Ca, Fe, Ti, Al, Si, силикатами Mg, Fe, Ca, алюмосиликатами Na, K, Mg, Ca, Fe, сульфидами Fe, Ni, Cu, фосфатом Ca, карбонатами Mg, Ca, Fe, K, Na, хлоридами K, Na, карбидами Si, Fe, флюидными компонентами – водным  $\text{H}_2\text{O}$ , угольной кислотой  $\text{CO}_2$  и метановым  $\text{CH}_4$ . Встречаются также самородное железо и его соединения. Всё это позволяет обобщить химический состав материнской среды, ответственной за происхождение сингенетических включений в алмазе, в виде многокомпонентной гетерогенной системы  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5-\text{FeS}-\text{NiS}-\text{KCl}-\text{NaCl}-\text{Fe}_3\text{C}-\text{SiC}-\text{CO}_2(\text{CO}, \text{CH}_4)-\text{H}_2\text{O}-\text{C}$ .

Таким образом, материнская среда кимберлитов и алмазов, скорее всего, осадочная среда, в которой присутствуют такие компоненты, как фосфаты, карбонаты, хлориды, карбиды и особенно вода, угольная кислота, метан и углерод. Все перечисленные выше компоненты и минералы кимберлитов образуются в карбонатной среде в результате скарнового процесса, развивающегося под влиянием внедрённого раскалённого расплава базальтов и мантийного флюида  $\text{H}_2\text{O}+\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}+\text{Al}_2\text{O}_3$ . Все кимберлиты образуются там, где есть в разрезе карбонатные или карбонат содержащие породы, способные распадаться на окислы металлов и металлоидов под воздействием раскалённого расплава. Алмазы образуются только в тех кимберлитах, которые формируются в толще пород, обогащённой органическими остатками и соединениями.

Геохимическая специализация кимберлитов преимущественно обязана карбонатному составу коры и единому мантийному флюиду, который, как правило, доминировал в редкометалльном балансе вещества. Кимберлит – это типичный высокотемпературный магнезиальный скарн, сформировавшийся при высоком давлении. Основные минералы кимберлитов – оливин (форстерит –  $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ ), пироксен (диопсид –  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), гранат (пироп –  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ ) – минералы скарнов. Исследователи этот парагенезис называют «дунит-гарцбургитовый» и считают его мантийным. Никакого отношения к глубинным мантийным расплавам минералы кимберлитов не имеют. Они образуются

в результате реакции компонентов мантийного флюида  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$  с оксидами металлов CaO, MgO, FeO, возникающих в результате воздействия на карбонатные и карбонатсодержащие породы раскалённого расплава толеитовых базальтов. Схематично реакции можно записать следующим образом:



Следовательно, образование кимберлитов связано с последовательными этапами продолжительного скарнового процесса, идущего с большой температурой и давлением под влиянием раскалённого расплава толеитовых базальтов и мантийного флюида –  $H_2O+SiO_2+K_2O+Al_2O_3$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородин Л.С.* Генетические типы и геохимические особенности мантийно-коровых карбонатитовых формаций // *Геохимия*. 1994. № 12. С. 1683–1692.
2. *Бородин Л.С.* О типах карбонатитовых месторождений и их связи с массивами ультраосновных щелочных пород // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1957. № 5. С. 396–406.
3. *Бородин Л.С., Диков Ю.П.* Высокотемпературный гидротермальный синтез нефелина и флогопита // *Экспериментальные исследования процессов минералообразования*. – М.: Наука, 1970. С. 75–94.
4. *Васильев В.Г., Ковальский В.В., Черский Н.В.* Проблема происхождения алмазов. – Якутск: Якутское книжное изд-во, 1961.
5. *Зотов И.А.* Трансмагматические флюиды в магматизме и рудообразовании. – М.: Наука, 1989.
6. *Когарко Л.Н.* Щелочной, карбонатитовый и кимберлитовый магматизм в истории Земли и роль мантийного метасоматоза в генезисе этих формаций // *Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении*. – М.: Изд-во МГУ, 2010. Т. 1. С. 60–80.
7. *Коржинский Д.С.* Основы метасоматизма и метаморфизма. Избранные труды. – М.: Наука, 1993.
8. *Коржинский Д.С.* Проблемы метасоматических процессов. // *Проблемы метасоматизма*. Тр. II конференции по околорудному метасоматизму. – М.: Изд-во «Недра», 1970. С. 14–21.
9. *Коржинский Д.С.* Трансмагматические потоки растворов подкорового происхождения и их роль в магматизме и метаморфизме // *Докл. советских геологов на XXIII международ. геологическом конгрессе: Кора и верхняя мантия*. – М.: Наука, 1968. С. 69–74.
10. *Костицын Ю.А.* CHUR на Земле – миф или реальность? // *Мантийные плюмы и металлогения*. – Петрозаводск–Москва, 2002. С. 121–123.
11. *Лазько Е.Е.* Минералы-спутники алмаза и генезис кимберлитовых пород. – М.: Изд-во «Недра», 1979.
12. *Литвин Ю.А.* Происхождение алмаза и сингенетических включений по данным физико-химического эксперимента / *Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении*. – М.: Изд-во МГУ, 2010. Т. 2. С. 208–226.
13. *Маракушев А.А., Перчук Л.Л.* Происхождение и эволюция метаморфических и трансмагматических флюидов // *Международный геохимический конгресс. Тезисы докладов*. Т. II. – М., 1971. С. 513–514.
14. *Меняйлов А.А., Иванова В.Г.* Некоторые минералы в кимберлитах и вмещающих породах трубок Якутии // *Изв. СО АН СССР*. 1958. Вып. 1. С. 23–29.
15. *Овчинников Л.Н., Масалович А.М.* Состав, внутреннее строение и некоторые свойства гидротермального рудообразующего раствора // *Проблемы метасоматизма*. – М.: Изд-во «Недра», 1970. С. 25–33.
16. *Петрография*. Ч. III / Под ред. А.А.Маракушева. – М.: Изд-во МГУ, 1986.
17. *Пузанов В.И.* Срединно-Атлантический хребет и его роль в развитии Атлантики // Сайт: <http://geolog-pvi.ru/sredinno-atlanticheskij-hrebet-format.htm> 2010.
18. *Пузанов В.И.* Срединно-Тихоокеанский хребет и его роль в развитии Тихого океана // Сайт: <http://geolog-pvi.ru/sredinno-tihookeanicheskiy-hrebet-format.htm> 2010.
19. *Пузанов В.И.* Условия формирования двухполевошпатового парагенезиса гранитоидов Джугджурского комплекса // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 1989. Т. 64. Вып. 6. С. 68–82.
20. *Пузанов В.И.* Физико-химические условия формирования амфибол-биотитового парагенезиса гранитоидов Джугджурского комплекса // *Геология и разведка*. 1988. № 5. С. 30–39.
21. *Пузанов В.И., Черкасов В.А.* Геохимическая модель эволюции вещества в процессе формирования гранитоидов Челасинского «плутона» // *Отечественная геология*. 1995. № 6. С. 58–67.
22. *Рябчиков И.Д.* Механизм геохимической дифференциации мантии Земли. Препринт. – С-Пб, 1992.
23. *Рябчиков И.Д.* Флюидный режим мантийных плюмов // *Мантийные плюмы и металлогения*. – Петрозаводск–Москва, 2002. С. 194–195.
24. *Трофимов В.С.* Верхняя мантия и проблема происхождения алмазов // *Кора и верхняя мантия*. – М., 1968. С. 105–111.
25. *Тугаринов А.И.* Общая геохимия. – М., 1973.
26. *Шкодзинский В.С., Зайцев А.И.* Происхождение алмаза в кимберлитах // *Отечественная геология*. 2005. № 5. С. 50–53.
27. *Эйтель В.* Физическая химия силикатов. – М.: Изд-во Иностранной лит-ры, 1962.
28. *Экспериментальное плавление амфиболитовых включений в андезитах с целью изучения их генезиса* / В.А.Ермаков, Т.Н.Соловьёва, Ю.С.Геншафт, Н.В.Тронева // *Экспериментальные исследования в области глубинного петрогенезиса*. – М., 1976. С. 3–65.
29. *Hofmann A.W.* Mantle Geochemistry: The Message From Oceanic Volcanism // *Nature*. 1997. Vol. 385. Pp. 219–229.
30. *Holland H.* The Chemical Evolution of the Atmosphere and Ocean, Princeton: Princeton Univ. Press. 1984. Vol. 235.
31. *Kasting J.F., Egger D.H., Raeburn S.P.* Mantle Redox Evolution and the Oxidation State of the Archean Atmosphere // *J.Geology*. 1993. Vol. 101. № 2. Pp. 245–257.
32. *Navon O., Israeli E.S.* Cl and K-rich micro-inclusions in cloudy diamonds // *EOS*. 1999. Trans. Am. Geophys. Union 80. F. 1128.