

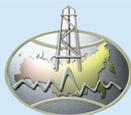
ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 4-5 / 2020

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

Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),
А.И.Черных (зам. главного редактора)

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

Содержание

МИНЕРАГЕНИЯ

Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С.
Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция..... 3

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Яблокова С.В., Самосоров Г.Г., Позднякова Н.Н.
Типоморфные особенности золота как критерии связи россыпей с коренными источниками золото-серебряного типа (на примере рудно-россыпного узла Многовершинное) 24

Остапенко Н.С., Нерода О.Н.
К генезису золото-серебряного месторождения Купол (Северо-Восток России)..... 39

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Коковкин А.А.
Феномен Бурейского оползня: данные полевых исследований и модель формирования 48

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Петроченков Д.А.
Ювелирно-поделочные аммониты из отложений готерива Ульяновской области: минеральный состав, геммологические характеристики..... 64

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА МИРОВОГО ОКЕАНА

Сагалевиц А.М., Сагалевиц В.Д.
Исследования гидротермальных полей на дне Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» 76

75-й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны: А.В.Ижорский, С.А.Манилов, В.Т.Мартынов, Л.А.Болотов, В.В.Лебедев, М.Б.Шебеко, Л.И.Яковлев... 97

Коньшиев В.О., Антонец Ф.Д., Сидорова Е.В.
Мы помним..... 104

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

К 115-летию Герасима Васильевича Богомолова..... 110

Памяти Александра Александровича Константиновского 117

Редакция: *Т.М.Папеско, А.П.Фунтикова*
Компьютерная верстка: *А.Д.Юргина*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки Российской Федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации
№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 20.10.2020

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

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

Типография ФГБУ ЦНИГРИ

Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция

И.Ф.МИГАЧЕВ, О.В.МИНИНА, В.С.ЗВЕЗДОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Впервые с использованием разработанной в ЦНИГРИ методологии прогноза медно-порфировых месторождений оценены перспективы Корякско-Камчатского региона на этот тип оруденения. Описаны андезитоидные и базальтоидные вулканоплутонические пояса с известными медно-порфировыми проявлениями. Определены плутоногенные и вулканогенные формации, с которыми связаны медно-порфировые и сопряжённые золото-полисульфидные и медно-мышьяковые проявления, принадлежащие различным частям рудно-магматических систем с комплексной металлогенией. Оценены перспективы выделенных потенциальных рудных районов и узлов для обнаружения медно-порфировых месторождений. В целом Корякско-Камчатский регион может рассматриваться как потенциальная медно-порфировая провинция. Однако, с учётом целого ряда факторов и, прежде всего, экономических и экологических сделан вывод о приоритетности постановки прогнозно-минерагенических работ на площадях с проявлениями золотосодержащих медно-мышьяковых и золото-полисульфидных руд.

Ключевые слова: вулканоплутонические пояса, рудоносные плутоногенные и вулканогенные формации, рудно-магматические системы с комплексной металлогенией, медно-порфировые месторождения, золото-полисульфидные и медно-мышьяковые проявления, прогноз и поиски.

Мигачев Игорь Федорович
доктор геолого-минералогических наук

migatchev@tsnigri.ru

Минина Ольга Васильевна
кандидат геолого-минералогических наук



minina@tsnigri.ru

Звездов Вадим Станиславович
кандидат геолого-минералогических наук

metallogeny@yandex.ru

Koryak-Kamchatka region: potential porphyry copper province

I.F.MIGACHEV, O.V.MININA, V.S.ZVEZDOV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals) (FSBI TsNIGRI)

Using porphyry copper deposit forecasting method developed in TsNIGRI, Koryak-Kamchatka region prospects for this mineralization style were evaluated for the first time. Andesitic and basaltic volcanoplutonic belts hosting the known porphyry copper occurrences are described. Plutonogenic and volcanogenic units related to porphyry copper and associated gold-polysulfide and copper-arsenic occurrences belonging to various parts of metallogenically complex ore-magmatic systems are defined. Prospects of the identified potential ore districts and clusters for porphyry copper deposit discovery are evaluated. On the whole, Koryak-Kamchatka region can be viewed as a potential porphyry copper province. However, considering a number of factors, primarily, economic and environmental, conclusion is made about the priority of forecasting and mineragenic work in respect to Au-rich copper-arsenic and gold-polysulfide ores.

Key words: volcanoplutonic belts, ore-bearing plutogenic and volcanogenic units, metallogenically complex ore-magmatic systems, gold-polysulfide and copper-arsenic occurrences, forecasting and prospecting.

Корякско-Камчатский регион представляет собой северный сегмент западной части Тихоокеанского минерагенического пояса и входит в состав его наиболее молодой (P_3-N) и максимально продвинутой в сторону океана восточной ветви, которая также включает в себя Курилы, Японию, островную часть Китая, Филиппины, восточные острова Индонезии, Папуа-Новую Гвинею, Соломоновы острова, Гебриды, Фиджи и Новую Зеландию. Несмотря на противоречивость палеотектонических интерпретаций сложного в геоструктурном отношении узла сопряжения Евроазиатского, Западно-Тихоокеанского поясов и Австралийского континента, здесь устанавливаются два типа вулcano-плутонических поясов (ВПП) с медно-порфировым оруденением: явно преобладающих островодужных базальтоидных (БВПП), завершающих развитие островных дуг, и краевых эпиконтинентальных андезитоидных (АВПП) [12, 13, 15].

Начиная с поздней юры и до олигоцена территория Корякии и Камчатки представляла собой периферическую часть океана. Здесь существовала достаточно сложная система островных дуг, срединных массивов, окраинных и междуговых морских бассейнов континентального склона и подножия. В отдельных островодужных структурах также образовывались базальтоидные ВПП [16]. Аккреция основной территории Камчатки к ранее образованной (K_{1-2}) окраине континента, очевидно, произошла в палеоцене–олигоцене. К началу формирования геоструктур восточной ветви западной части Тихоокеанского пояса Корякия и Камчатка представляли собой окраину континента, и только на её крайнем восточном фазе (Олюторская и Приокеанская зоны) существовала островная дуга, завершившая своё развитие в раннем неогене (олигоцене). Соответственно, олигоцен-неогеновые ВПП этого региона рассматриваются в качестве эпиконтинентальных андезитоидных геоструктур. Подобные пояса вмещают медно-порфировые месторождения (МПМ) и выделяются как металлогенические провинции или их части.

Ранее авторами [18] была дана предварительная оценка перспектив ВПП Камчатки на медно-порфировое оруденение, в основном базировавшаяся на наличии в их строении продуктивных вулcano-плутонических ассоциаций (ВПА) и возможно рудоносных плутоногенных формаций ранних этапов развития поясов, проявлений медно-порфирового типа, а также присутствия подобных месторождений, в том числе крупных, в других звеньях восточной ветви юго-западной части Тихоокеанского пояса. В то же время возникла необходимость более детального и обоснованного рассмотрения строения известных ВПП, выделения ВПА и плутоногенных формаций, ареалов их развития и установления их простран-

ственно-временных связей с медно-порфировыми проявлениями и месторождениями других рудоформационных типов с последующим прогнозно-металлогеническим районированием региона и авторской оценкой перспектив обнаружения медно-порфировых месторождений.

Вулcano-плутонические пояса и продуктивные формации. В качестве возможной потенциальной Корякско-Камчатской медно-порфировой провинции рассматривается система разновременных кайнозойских ВПП, которые частично совмещены в пространстве. Рядом исследователей (С.Е.Апрелковым, О.Н.Волынцом, Ю.И.Харченко, Ю.Ф.Фроловым, С.С.Вартаняном, Ю.М.Щепотьевым, И.Д.Петренко, М.Н.Шапиро, Н.И.Филатовой, Н.П.Митрофановым, П.И.Федоровым и др.) в Корякско-Камчатском регионе в направлении с запада на восток выделены андезитоидные пояса: Окляно-Пенжинский (P_1-N_1), Пенжинско-Западно-Камчатский (P_2-N_1), Корякско-Центрально-Камчатский (P_3-N_{1-2}) и Олюторско-Восточно-Камчатско-Курильский (P_3-N_2), а в его центральной части авторами статьи установлен Ирунейско-Кирганикский базальтоидный ВПП (K_2-P_1). Восточные пояса частично перекрыты полями четвертичных базальтов с действующими вулканами (рис. 1).

Корякско-Центрально-Камчатский вулcano-плутонический пояс (КЦК ВПП, P_3-N_{1-2}), протягивающийся с севера на юг вдоль Камчатского полуострова, образован крупными вулcano-плутоническими ареалами. Пояс сформирован на относительно поднятых блоках и выступах фундамента, сложенных породами разного состава и возраста, что обусловило различия в его строении и металлогении (рис. 2). В южном звене основанием пояса служит Срединный выступ метаморфитов PR и PZ₂₋₃. В его западном обрамлении в фундаменте ВПП распространены отложения флишоидно-граувакковой формации K_2 , а в северном и восточном – вулcanoгенно-кремнистые и вулcanoгенные образования K_2-P_1 Кирганикско-Шаромской островной дуги, включая магматиты трахибазальт-габбро-сиенитовой ВПА с золото-медными проявлениями. Непосредственно в основании пояса залегает толща континентальной вулcanoгенной молассы P_{2-3} .

Наиболее полный разрез пояса представлен в Центрально-Камчатском золоторудном районе – крупной вулканотектонической депрессии, примыкающей с севера к Срединному выступу фундамента. Здесь выделяется несколько ритмов магматизма, между которыми не установлено сколько-нибудь значительных перерывов [2, 28]. Ранняя диорит-андезитовая ВПА (P_3-N_{1-2}) включает базальты, андезибазальты, андезиты (анагвайская серия), андезидациты, дациты,

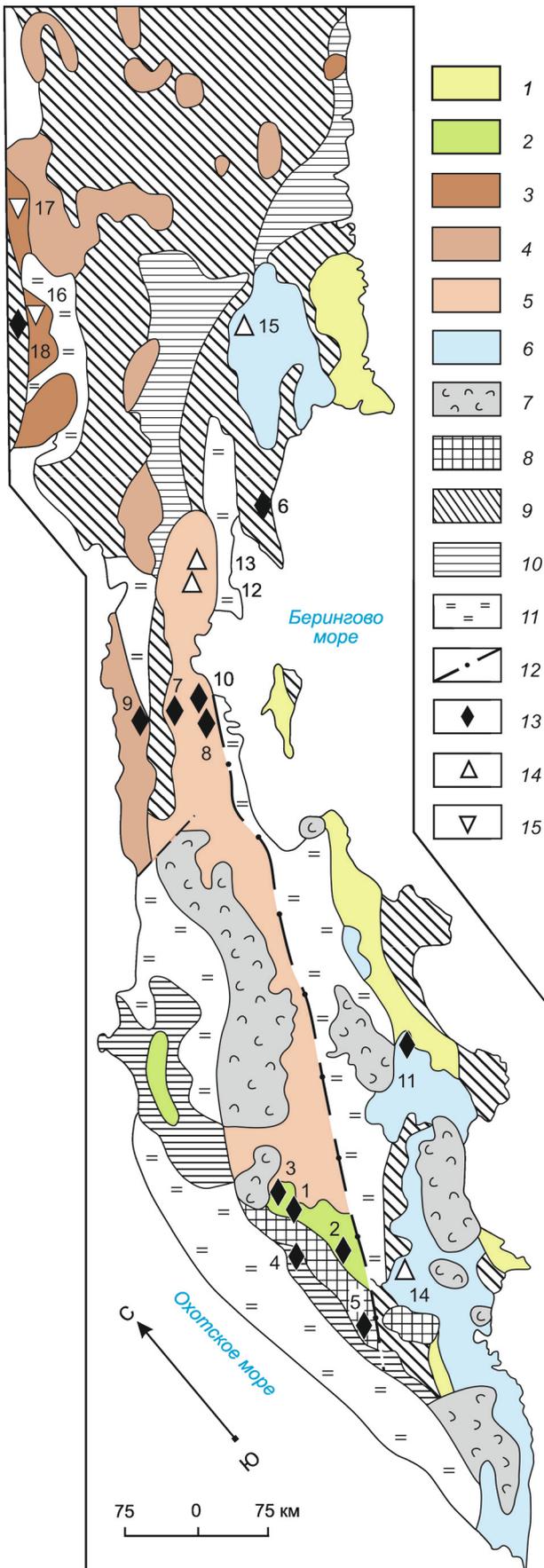


Рис. 1. Вулкано-плутонические пояса Корьякско-Камчатского региона и положение потенциальных медно-порфировых рудных узлов с разной степенью перспективности:

1–7 – вулкано-плутонические пояса: 1 – предполагаемый базальтоидный Ачайваям-Валагинской островной дуги (K_2), 2 – Ирунейско-Кирганикский (K_2-P_1), 3 – Оклано-Пенжинский (P_1-N_1), 4 – Пенжинско-Западно-Камчатский (P_2-N_1), 5 – Корьякско-Центрально-Камчатский (P_3-N_{1-2}), 6 – Олюторско-Восточно-Камчатско-Курильский (P_3-N_2), 7 – Камчатско-Курильский современный (N_2^3-Q); 8–10 – фундамент вулкано-плутонических поясов: 8 – метаморфический гнейсовый и сланцевый (PR и PZ_{2-3} ?) Срединного и Ганальского выступов, 9 – вулканогенный и терригенно-вулканогенный островодужных, океанических структур и окраинных морей, 10 – терригенный, вулканогенно-терригенный флишевых тыловых прогибов, континентальных шельфов; 11 – кайнозойский осадочный чехол (прибрежные и континентальные молассы, рыхлые четвертичные отложения); 12 – Центрально-Камчатский разлом; 13–15 – потенциальные медно-порфировые рудные узлы с разной степенью перспективности и их номера: 13 – перспективные, с известными медно-порфировыми проявлениями (1 – Хим-Кирганикский, 2 – Шаромский, 3 – Левинсон-Лессинга, 4 – Крутогоровско-Адриановский, 5 – Лунтосский, 6 – Пылгинская рудная зона, 7 – Венявямский, 8 – Тыкляваямский, 9 – Шаманкинский, 10 – Тымлатский, 11 – Кумрочский, 18 – Хиузно-Ушканьинский), 14 – условно перспективные, выделенные по признакам периферических частей медно-порфировых рудно-магматических систем (12 – Малетойваямский, 13 – Сеэрваямский, 14 – Авачинско-Китхойский, 15 – Белогорский), 15 – с неясной перспективностью (16 – Кондыревский, 17 – Среднеорловкинский)

риодациты (березовская свита), образующие базальт-андезит-риодацитовую формацию, и плутониты комагматичной габбро-диорит-гранодиоритовой формации (лавкинский комплекс, P_3-N_1), сконцентрированные в Срединном выступе и его обрамлении. С вулканами сопряжены полиметаллически-золото-серебряные проявления (Оганчинское, Лазурное и др.), а с плутонитами – медно-порфировые (Лагерное, Туманное и др.).

Последующие ритмы вулканизма (N_1^3 и N_2) отмечены накоплением вулканитов андезибазальтовой формации (алнейская свита). С.С.Вартаняном [2] в её составе выделен рудоносный базальт-андезит-дацитовый комплекс, который в крупных вулканоструктурах центрального типа развивался унаследованно в ходе обоих неогеновых ритмов вулканизма. С ним связаны основные золото-серебряные месторождения и проявления Центрально-Камчатского рудного района (Агинское, Золотое, Бараньевское и др.), среди которых по минералого-геохимическим

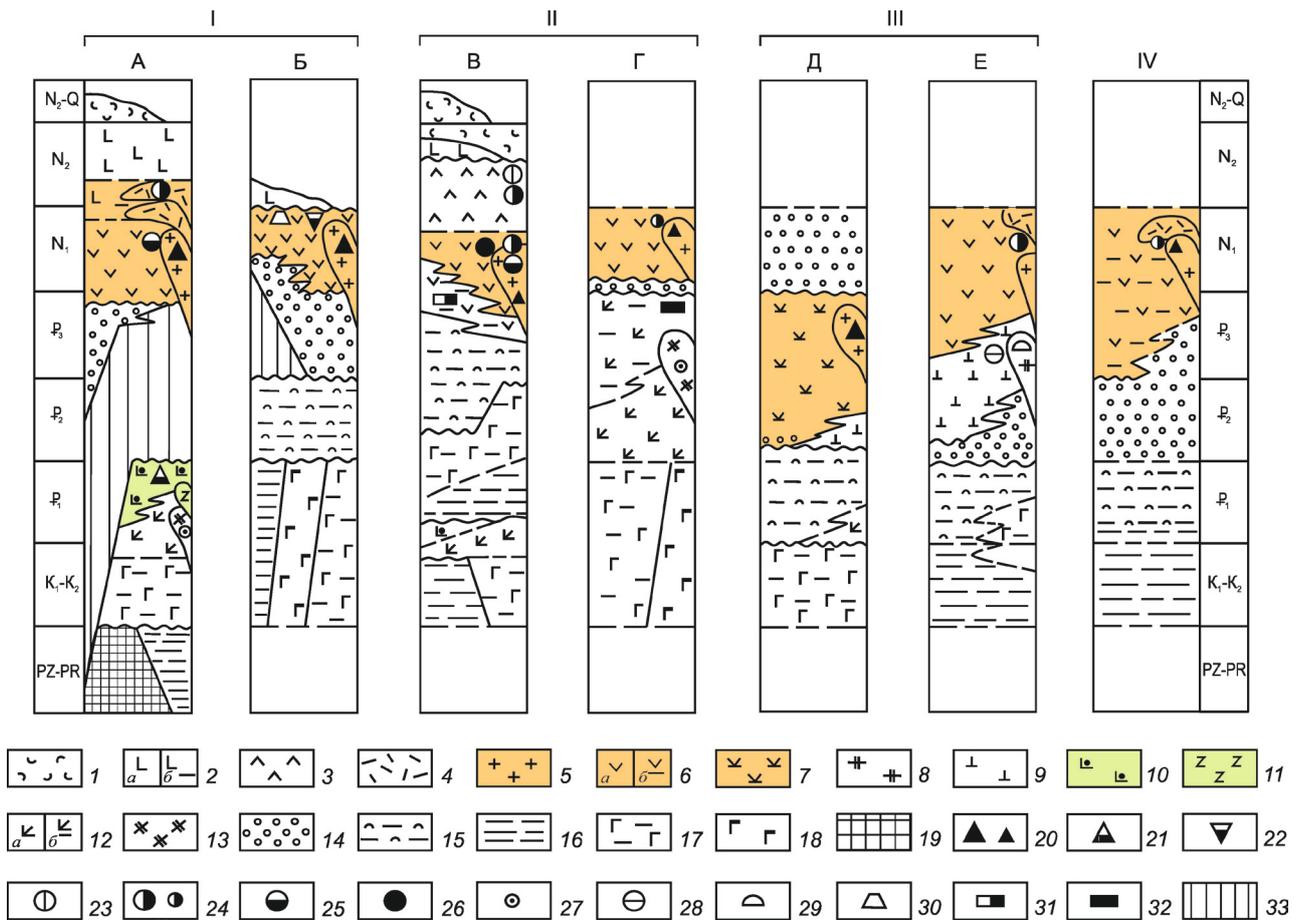


Рис. 2. Формационно-металлогенические ряды вулканоплутонических поясов Корякско-Камчатского региона:

1–13 – вулканоплутонические ассоциации (ВПА) и формации: 1 – современного Камчатско-Курильского ВПП нерасчленённые, 2–9 – андезитоидных ВПП: 2 – андезибазальтовая (а – вулканогенная, б – терригенно-вулканогенная), 3 – базальт-андезит-дацит-риолитовая, 4 – риодацит-риолитовая экструзивная, 5–7 – ранняя диорит-андезитовая ВПА, формации: 5 – габбро-диорит-гранодиоритовая, б – андезит-дацитовая, андезит-дацит-риолитовая, базальт-андезит-дацит-риодацитовая (а – вулканогенная, б – вулканогенно-осадочная), 7 – базальт-андезибазальт-андезитовая, 8–9 – риолит-гранитная ВПА, формации: 8 – гранодиорит-гранитная, 9 – дацит-риолитовая; 10–13 – базальтоидных ВПП: 10–11 – трахибазальт-габбро-сиенитовая ВПА, формации: 10 – субщелочная трахибазальт-андезибазальтовая, 11 – субвулканическая пироксенит-эссексит-шонкинитовая, 12–13 – базальт-андезибазальт-габбро-плаггиогранитная ВПА, формации: 12 – базальт-андезибазальтовая (а – вулканогенная, б – терригенно-вулканогенная), 13 – габбро-плаггиогранитная; 14–19 – формации фундамента ВПП: 14 – предпоясовая континентальная молассовая, 15 – морская молассовая, 16 – флишевая и флишоидная, 17 – терригенно-вулканогенные базальтоидные, 18 – базальтовые, базит-гипербазитовые, 19 – метаморфические гнейсовые и сланцевые; 20–32 – рудные месторождения (крупный знак) и рудопроявления (мелкий знак): 20 – медно-порфиоровые, молибден-медно-порфиоровые, 21 – золото-медные кирганического типа, 22 – медно-мышьяковые (с Au, Ag), 23–26 – золото-серебряной формации: 23 – золото-серебряные, 24 – серебряно-золотые, золото-теллурические, 25 – золото-полисульфидные, 26 – золото-алунитового высокосульфидизированного типа, 27 – золото-сульфидно-кварцевые, 28 – сереборудные, 29 – оловорудные, 30 – самородной серы, 31 – (медно)-свинцово-цинковые, 32 – (медно)-магнетитовые; 33 – интервалы отсутствия стратифицированных отложений; вулканоплутонические пояса и их звенья: I – Корякско-Центрально-Камчатский (А – южное и среднее, Б – северное звенья), II – Олюторско-Восточно-Камчатско-Курильский (В – южное звено и Курилы, Г – северное звено), III – Пенжинско-Западно-Камчатский (Д – Кинкильское звено, Е – Ичигин-Уннэйваямское звено), IV – Оклано-Пенжинский

особенностям выделены объекты золото-теллурического, собственно золотого и золото-серебряного формационных подтипов. В породах базальт-андезит-риодацитовой формации известны также проявления

серных руд во вторичных кварцитах, а андезибазальтовой – ртутные и мышьяково-сурьмяно-ртутные.

В северных звеньях КЦК ВПП, отделённых от южного звена крупным ареалом андезибазальтовой

формации, в основании пояса развиты преимущественно кремнисто-вулканогенно-терригенные (K_2-P_1) и кремнисто-терригенные (P_1) отложения. Основной объём пояса здесь сложен магматитами ранней андезит-диоритовой ВПА, объединяющей вулканиды корфовской и березовской свит (N_1) и мелкие массивы диоритов-гранодиоритов. С её становлением связывается образование всех известных здесь золото-серебряных месторождений (Озерновское) и проявлений (Эвепента, Каньон, Амбух, Ламутское и др.), а также немногочисленных медно-порфировых (Сиганектан) проявлений.

Северное окончание КЦК ВПП, расположенное в антиклинорных структурах Корякского нагорья, сформировано на разнородном субстрате, включающем блоки терригенных, кремнисто-терригенных, базальтоидных и базит-гипербазитовых комплексов (K_2-P_1). Пояс образован крупным ареалом развития магматитов миоценовой андезит-диоритовой ВПА – ветроваямским комплексом андезитов и малетойваямским (лавкинским) – диоритов-гранодиоритов. Золото-серебряное оруденение, столь характерное для Камчатской части пояса, представлено здесь редкими мелкими проявлениями. В Ильпинском рудном районе с андезитовой формацией сопряжены крупные месторождения серы (Малетойваямское, Ветроваямское), а со штоками диоритовых порфиров лавкинского комплекса – медно-мышьяковые (энаргит-люционитовые) Au-Ag-содержащие проявления.

Таким образом, в качестве продуктивной на медно-порфировые месторождения в КЦК ВПП выступает габбро-диорит-гранодиоритовая формация (P_1-N_1), входящая в состав ранней андезит-диоритовой ВПА.

Олюторско-Восточно-Камчатско-Курильский вулcano-плутонический пояс (ОлВКК ВПП, $P_3^3-N_2$) протягивается с перерывами вдоль восточного побережья Камчатки, охватывая на севере южную оконечность Олюторского полуострова, а на юге – острова Большой Курильской гряды. В основании камчатских звеньев пояса (см. рис. 2) развиты образования Ачайваям-Валагинской энсиматической островной дуги (K_2-P_1) [26]. Стратифицированные отложения содержат проявления магнетит-сульфидных, железо-марганцевых и колчеданных руд, а мафитовые и ультрамафитовые массивы – небольшие медно-никелевые и платиново-хромитовые проявления, являющиеся источниками богатых россыпей платины. Базальт-андезитобазальтовая формация восточных хребтов Камчатки и Олюторского звена (ачайваямская свита позднего маастрихта–палеоцена) вместе с комагматичными плутонитами габбро-диоритовой формации завершает становление Ачайваям-Валагинской островной дуги и образует слабоизученный базальтоидный ВПП (K_2-P_1), фрагмен-

тарно прослеживающийся в основании ОлВКК пояса. Со штоками и дайками диоритов и габбродиоритов ассоциируют проявления золото-сульфидно-кварцевой (Доброе, Игривое) и скарновой медно-магнетитовой формаций.

В *южном звене* ОлВКК ВПП, по данным [10, 28], к самым ранним проявлениям вулканизма относятся андезиты и дациты мутновской вулканогенно-осадочной толщи (P_3-N_1). Вместе с субщелочными вулканидами паратунской (N_1^{1-2}) и дацит-риолитовой березовской свит (N_1^2) эти образования составляют раннюю андезит-дацит-риолитовую формацию ($P_3-N_1^{1-2}$), а с мелкими телами диоритов, кварцевых диоритов, гранодиоритов, габбродиоритов и монцитонитов образуют андезит-диоритовую ВПА ($P_3-N_1^{1-2}$), которая по составу и возрасту аналогична выделяемой в КЦК ВПП. Следующие за ней вулканиды ($N_1^3-N_2$) образуют базальт-андезит-дацит-риолитовую формацию, которая, как и андезит-диоритовая ВПА, сопровождается золото-серебряными месторождениями (Асачинское, Родниковое, Банное и др.) и проявлениями. В вулканотектонических депрессиях вулканиды андезит-дацит-риолитовой формации фациально замещаются отложениями мелководно-морской вулканогенной молассы (конская, шагаевская, македонская, кавранская, шапинская, васильевская, жировская свиты ($P_3-N_1^{1-2}$) с проявлениями галенит-сфалерит-пиритовой жильной и стратиформной минерализации.

В *Большекурильском звене* вулканогенно-терригенные отложения этого возраста (кунаширская и другие толщи) с многочисленными проявлениями медно-свинцово-цинковых руд (Валентиновское, Докучаевское на о. Кунашир и др.) по составу и металлогеническим особенностям близки толще «зелёных туфов» энсиалической дуги Хонсю ($P_3^3-N_1^2$) в Японии, вмещающей колчеданные месторождения типа «куроко». В то же время в относительно поднятых блоках размещены вулканоструктуры с золото-серебряными месторождениями (Прасоловское, Айнское). В Тихоокеанской зоне Большекурильской гряды, помимо ранней андезитовой, широко распространена базальт-андезит-дацит-риолитовая (головинская и алахинская свиты, $N_1^3-N_2$) и локально – андезитобазальтовая (григорьевская свита, N_2) формации.

В *северном Олюторском звене* в основании пояса на мощных вулканогенно-кремнистых, базальт-турбидитовых и флишевых разрезах (K_2-P_3) залегает толща вулканогенно-терригенной угленосной молассы. Ранняя андезит-диоритовая ВПА (N_1) ОлВКК ВПП объединяет вулканогенные отложения верхней части разреза корфовской серии, а также апукской и автоваамской свит и штоки диорит-

гранодиоритовой формации с мелкими медно-порфировыми проявлениями [4, 5].

В Южно-Камчатском рудном районе [28] с магматитами андезит-диоритовой ВПА (N_1) сопряжены месторождения и проявления полиметаллически-золото-серебряного типа, локализованные в экзо- и эндоконтактных зонах интрузивов (Мутновское, Китхойское, Желтое). На глубоких горизонтах они нередко содержат медно-порфировую минерализацию. В миоценовом массиве гранодиоритов локализованы также рудные тела Прасоловского золото-теллурического месторождения на о. Кунашир, а в субвулканических андезитах – Айнского месторождения золото-алунитового типа («высокой сульфидизации») на о. Уруп. Для месторождений и проявлений серебряно-золотого типа (Асачинское, Родниковое, Банное и др.) в качестве рудоносной выступает более поздняя базальт-андезит-дацит-риолитовая формация ($N_1^3-N_2$). Нередко они сопровождаются проявлениями ртутной (Олюторское) и сурьмяно-мышьяковой (Гиткалион) минерализации. В Олюторском звене с вулканитами андезит-диоритовой ВПА связаны единичные золото-серебряные проявления (Росомаха), а с коагматичными плутонитами в перивулканической зоне – мелкие молибден-меднопорфировые (Мильгиней, Декуоль, Лалынкытап), свидетельствующие о потенциальной продуктивности диорит-гранодиоритовой формации на медно-порфировые руды.

Пенжинско-Западно-Камчатский вулканоплутонический пояс (ПЗК ВПП, P_2-N_1) представлен несколькими ареалами развития вулканогенных и интрузивных пород, протягивающимися цепочкой в северо-восточном направлении от западного побережья п-ва Камчатка через Корякское нагорье к Анадырской впадине. Наряду с соседним Окрано-Пенжинским ВПП по времени заложения (средний эоцен) он является самым ранним в регионе. Наиболее крупные Кинкильский и Ичигин-Уннэваямский ареалы вулканитов находятся в средней части пояса. Южнее, вдоль западного побережья Камчатки, пояс прослеживается в виде небольших полей вулканитов и мелких интрузивов, а на севере, в Корякском нагорье, образует слабоизученные Элекайский и Рарыткинский ареалы ($P_2^3-P_3$).

Кинкильский ареал (P_2^{2-3}) сформирован на безрудных кремнисто-вулканогенных и терригенных толщах окраинного моря (лесновская, омгонская и кихчикская свиты, K_{1-2}), перекрытых молассоидами хулгунской свиты (P_1) [10]. Пояс в основном образован базальт-андезитобазальт-андезитовой формацией (кинкильская свита, P_2^2) и мелкими телами коагматичных порфировых диоритов-гранодиоритов, которые образуют ВПА (P_2^{2-3}), потенциально продук-

тивную на медно-порфировые руды (см. рис. 2). С одним из гранитоидных массивов связано Шаманкинское медно-порфировое проявление.

В Ичигин-Уннэваямском ареале, расположенном в юго-западном окончании Корякского нагорья, основанием пояса служат мощные толщи флиша и морской молассы (K_2-P_1), выполняющие крупный Энычай-Укэляятский прогиб. Локализованные в них проявления золото-сульфидно-кварцевой формации ассоциируют с допоясовыми дайками.

В этом ареале, по данным Н.И.Филатовой [23], вулканиты составляют две формации. Ранняя дацит-риолитовая (велолныкская свита, P_{2-3}), слагающая линейную структуру типа грабен-синклинали, отличается преобладанием лавовых и субвулканических фаций риодацитов и риолитов, присутствием в разрезе горизонтов континентальной угленосной молассы и сопровождается небольшими телами гранодиорит- и гранит-порфиров, образуя риолит-гранитную ВПА калиевого ряда, продуктивную на руды олова и серебра. Большая часть проявлений серебра (Финиш, Иволга и др.) локализована в вулканоструктурах, а оловорудные месторождения касситерит-силикатной формации (Айнаветкинское, Хрустальное) – в телах гранит-порфиров и терригенных породах их рамы [25].

Следующая за ней с частичным перекрытием во времени базальт-андезит-дацитовая формация (автоваамская и элекайская толщи, P_3-N_1) характеризуется преобладанием андезитов и дацитов, обилием субвулканических фаций и натриевым типом щелочности. Вулканиты вместе с редкими интрузивами и дайками кварцевых диорит-порфиров образуют андезит-диоритовую ВПА (P_3-N_1), продуктивную на золото-серебряные (месторождения Аметистовое, Спрут и др. в вулканоструктурах центрального типа) и медно-порфировые руды.

В северных Элекайском и Рарыткинском ареалах, сложенных вулканитами андезитобазальт-андезит-дацитовой формации, известны единичные точки сульфидной минерализации.

Таким образом, в ПЗК ВПП плутониты андезит-диоритовой ВПА, потенциально продуктивные на медно-порфировые руды, присутствуют в небольшом количестве и слабо изучены. В Кинкильском ареале в ассоциации с ними выявлено Шаманкинское медно-порфировое проявление, а в Ичигин-Уннэваямском – медные кварцево-жильные проявления. В то же время следует отметить, что с учётом возраста и пространственной ориентировки этот пояс может служить южным продолжением выделенного В.В.Ивановым (1983) Анадырско-Бристольского ВПП (K_2-P_2), который протягивается вдоль кромки шельфа Берингова моря на территорию Аляски. В его Аляскинском звене известны золото-молибден-медно-порфировые

месторождения, наиболее крупным из которых является Pebble Copper. Сумма запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 этого месторождения составляет 33,6 млн. т условной меди при бортовом содержании 0,3%, 2,5 млн. т молибдена, 3042 т золота (на 31.01.2009 г., по данным компании Pebble Limited Partnership (PPL)).

Оклано-Пенжинский вулканоплутонический пояс (ОП ВПП, P_1-N_1), расположенный на северо-западном фланге рассматриваемого региона в структурах Пенжинского прогиба и Мургалевского поднятия, образован несколькими полями вулканитов (P_1-N_1) и ассоциирующими с ними мелкими телами гранитоидов. Прерывистая цепочка магматических образований, возраст которых омолаживается в направлении с севера на юг от P_1 до $P_{2-3}-N_1$, протягивается в северо-восточном направлении на расстояние более 800 км вдоль Анадырского и Орловско-Каменского глубинных разломов. От близкого по возрасту ПЗК ВПП (P_2-N_1) он структурно отделён комплексами (K_1) Таловско-Майнского поднятия.

Магматический ареал юго-западного *Пенжинского звена* тяготеет к прибортовой части одноимённого прогиба, выполненного туфогенно-терригенными морскими молассами (мамолинская, кривореченская и другие свиты, $K_{1a}-K_2$) [4]. Пояс представлен вулканитами основного и среднего состава русскогорской и манильской свит $P_{2-3}-N_1$, залегающими на предпоясовой молассе (марковская свита, P_2). Вместе с экструзивно-субвулканическими телами андезидацитов-риодацитов они образуют базальт-андезит-риодацитовую формацию со значительной долей вулканомиктовых пород. Комагматичные интрузивно-субвулканические образования диорит-гранодиорит-гранитной формации (гранит-порфиры, кварцевые диорит-порфириты) слагают штоки, дайковые пояса, а также внутренние части экструзивно-субвулканических тел. Плутониты и вулканиты образуют ВПА, с которой связаны мелкие медно-порфировые и золото-серебряные проявления, совмещённые в Средне-орловкинской и Кондыревской вулканокупольных структурах.

Анадырское звено ОП ВПП, расположенное на северо-восточном фланге Мургалевского поднятия, представлено ВПА (P_1), состоящей из базальт-андезибазальт-риолитовой (энмываамская свита) и габбро-диорит-тоналит-плагиогранитной (ракетный комплекс) формаций [17]. В вулканогенных разрезах преобладающие лавы и туфы андезибазальтов сочетаются с базальтами, андезитами, андезидацитами, дацитами и риодацит-риолитовыми экструзивами. Потенциально продуктивный на медно-порфировые руды ракетный комплекс, изученный сотрудниками ЦНИГРИ в ходе поисковых работ 2010–2012 гг.

на Ракетном и Пожарском рудных полях, представлен небольшими массивами, сформировавшимися в результате нескольких фаз внедрения. Его палеоценовый возраст подтверждён U-Pb датировкой по цирконам. Массив рудопоявления Ракетное размещён среди комагматичных вулканитов и содержит ксенолиты диоритов позднемелового кавральянского монзонитоидного комплекса, с которым ассоциирует находящееся юго-западнее золото-молибден-медно-порфиоровое рудопоявление Ольховское [1].

Из изложенного следует, что в ОП ВПП, как и в других андезитовых поясах региона, проявлена (хотя и в небольшом объёме) продуктивность андезит-диоритовой ВПА на золото-серебряное и медно-порфиоровое оруденение.

Впервые выделенный [7] **Ирунейско-Кирганикский островодужный базальтоидный вулканоплутонический пояс** (ИК ВПП, K_2-P_1) представлен двумя наиболее крупными ареалами в восточном и северном обрамлении Срединного выступа фундамента и фрагментарно прослеживается в северном и южном направлениях. Пояс включает породы базальт-андезибазальтовой формации (верхняя часть разреза ирунейской свиты) и щелочные и субщелочные вулканиты калиевого ряда базальт-андезибазальтовой формации (кирганикская свита), а также сопровождающие их плутоногенные формации – габбро-плагиогранитную и габбро-сиенитовую (см. рис. 2). Перечисленные магматические образования сформированы на завершающем этапе развития и в ходе инверсии Ирунейского (Кирганикско-Шаромского) тылового прогиба (K_2-P_1) Ачайваям-Валагинской островной дуги [9], осевая часть которой расположена в Восточно-Камчатской зоне. Сам прогиб, развитый в восточном и северо-восточном обрамлении Срединного выступа фундамента вдоль зоны Главного Камчатского глубинного разлома, выполнен глинисто-яшмовыми и глинисто-кремнисто-туфогенными отложениями нижней части разреза ирунейской свиты сенонского возраста, в то время как верхние её части, сложенные пирокластическими и лавовыми фациями базальтов и андезибазальтов, фиксируют обстановки вулканических поднятий. Небольшие массивы габбро-плагиогранитной формации образуют с этими вулканитами ВПА (K_2-P_1) барьерной зоны.

В составе кирганикской свиты кремнистые породы также развиты в нижней части разреза, а верхняя его часть представлена грубообломочными туфобрекчиями, туфоконгломератами, туфами и лавами базальтов и андезибазальтов. Вулканогенный тип разреза по латерали замещается тефрогенным, что характеризует обстановку становления кирганикской ассоциации как мелководную с изолированными

вулканическими постройками на севере и их грядами на востоке. С учётом близкого возраста не исключаются фациальные соотношения пород верхней части разреза ирунейской и кирганикской свит.

Таким образом, Ирунейско-Кирганикский ВПП сложен породами двух ВПА – базальт-андезит-базальт-габбро-плагиогранитовой и, вероятно, несколько более поздней трахибазальт-габбро-сиенитовой. Высокая калиевая щелочность магматитов кирганикского комплекса отражает обстановку его становления в тыловой барьерной зоне Ачайваим-Валагинской островной дуги, частично на метаморфических комплексах [22]. Рудоносность этого пояса определяется присутствием проявлений золото-медных руд «кирганикского типа» (Кирганикское, Позднее, Сухое, ручья Хим, Шаромское), условно отнесённых к медно-порфиrowому семейству. Продуктивной на медное с золотом оруденение является пироксенит-эссексит-шонкинитовая формация (K_2-P_1), представленная субвулканическими штоками кольцевого строения, сложенными пироксенитами, эссекситами, шонкинитами, эпилейцитовыми шонкинитами, порфиrowидными шонкинитами и шонкинит-порфирами.

Анализ формационно-металлогенических рядов ВПП Корякско-Камчатского региона показал, что во всех андезитоидных поясах наиболее распространена андезит-диоритовая ВПА раннего этапа их становления. Она включает габбро-диорит-гранодиоритовую и базальт-андезит-риодацитовую формации. С первой связаны медно-порфиrowые проявления, со второй – золото-серебряные нескольких рудно-формационных подтипов, а также золотоносные медно-мышьяковые (сульфосолевые) в алунитсодержащих аргиллизитах и самородной серы в апоэффузивных кварцитах. В КЦК и ОлВКК ВПП сменяющая эту ВПА базальт-андезит-дацит-риолитовая формация ($N_1^3-N_2$) продуктивна на золото-серебряные руды с большей долей серебра.

Риолит-гранитная ВПА (P_{2-3}) Пенжинско-Западно-Камчатского ВПП с касситерит-силикатными и серебряными проявлениями сформирована до начала становления пояса аналогично аскольдинскому риолитовому комплексу с серебро-полиметаллическим месторождением Дукат в основании Охотско-Чукотского ВПП.

Пироксенит-эссексит-шонкинитовая формация (K_2-P_1) Ирунейско-Кирганикского базальтоидного ВПП продуктивна на золото-медные месторождения «кирганикского» типа, занимающие в структуре ВПП позицию медно-порфиrowых. Специфика состава пород продуктивной формации и титаномагнетит-борнит-халькопиритовых (с Au, Ag, МПГ) руд может отражать особенности палеотектонической обста-

новки становления названного пояса не на океанической коре, а в рифтогенной структуре на склоне срединного массива с мощной корой континентального типа.

Потенциально перспективные медно-порфиrowые рудные узлы. Корякско-Камчатский регион, где развиты сближенные в пространстве и частично перекрывающиеся во времени Ирунейско-Кирганикский (K_2-P_1), Оклано-Пенжинский (P_1-N_1), Пенжинско-Западно-Камчатский (P_2-N_1), Корякско-Центрально-Камчатский (P_3-N_2) и Олюторско-Восточно-Камчатско-Курильский (P_3-N_2) ВПП, принадлежит Корякско-Камчатско-Курильской золото-серебряной металлогенической провинции. Присутствие плутогенных формаций, потенциально продуктивных на медно-порфиrowые руды, и слабоизученных рудопроявлений этого типа определяет целесообразность специализированного металлогенического анализа этого региона как потенциальной медно-порфиrowой провинции.

Работами ряда зарубежных исследователей [29–34 и др.] показано, что месторождения медно-порфиrowого семейства принадлежат крупным, длительно развивающимся рудно-магматическим системам (РМС) «порфиrowого» типа, во внутренних частях которых (в эндо-экзоконтактовых зонах гипабиссальных и субвулканических порфиrowых интрузивов или брекчиевых трубках завершающих фаз становления продуктивных плутогенных формаций) обычно локализованы собственно медно-порфиrowые руды, во фланговых зонах – мезотермальные золото-полисульфидные жильные месторождения, а при наличии карбонатных толщ – проксимальные Au-Cu- и реже дистальные Pb-Zn-скарновые объекты, а в верхних периферийных (обычно в аргилизованных комагматических вулканитах) – эпитеpmальные месторождения: золото-рудные (с сульфосолями меди) жильные и стратонидные типа «высокой сульфидизации», самородной серы и золото-серебряные, преимущественно жильные, «средней сульфидизации». В последние десятилетия в ЦНИГРИ с учётом мирового опыта разрабатываются обобщённые геолого-генетические и на их основе интегрированные прогнозно-поисковые модели комплексных РМС с установлением поисковых критериев и признаков их различных частей – внутренних, фланговых и внешних [7, 8, 12, 13, 19]. Такие модели необходимы для эффективного прогноза и поисков скрытых, слабоэродированных медно-порфиrowых объектов, которые на современной поверхности могут быть представлены на первый взгляд «самостоятельными» проявлениями вышеназванных рудно-формационных типов.

Структура комплексной РМС включает рудоносную ВПА андезит-диорит-гранодиоритового состава (иногда с монзонитоидным уклоном), сформировавшуюся на раннем этапе становления ВПП, и закономерно размещённые в её объёме проявления различных рудных формаций, возникшие в ходе становления вулканогенных и плутоногенных членов ВПА. С первыми ассоциируют эпитермальные золото-серебряные, Au-Ag-содержащие медно-мышьяковые и серные месторождения, со вторыми – золото-молибден-медно-порфиновые, золото-порфиновые, жильные золото-кварцевые и золото-полисульфидные гипабиссально-субвулканического уровня, а в случае присутствия в породах рамы интрузива карбонатных пород – скарновые медные и полиметаллические.

Рудно-магматические системы с комплексной металлогенией, включающие медно-порфиновые руды, по масштабам отвечают рудным районам (РР) или узлам (РУ). В известных медно-порфиновых провинциях потенциальные рудные узлы (ПРУ) выделяются как ареалы распространения плутоногенных формаций, приуроченных к устойчивым палеоподнятиям в структуре ВПП или к относительно поднятым блокам их основания [12]. Наиболее благоприятными для возникновения крупномасштабных РМС с комплексной металлогенией являются обстановки длительно развивающихся магматогенных поднятий, а также их сопряжения с вулканотектоническими депрессиями [7, 8]. При этом главным показателем перспективности РУ является присутствие медно-порфиновых проявлений и их прямых поисковых признаков. Подтверждённое мировой практикой геологоразведочных работ включение медно-порфиновых объектов в комплексные РМС, которые включают также месторождения других рудно-формационных типов, послужило дополнительным критерием оценки потенциальных рудных узлов ВПП Корякско-Камчатского региона.

По геолого-структурной позиции рассматриваемые ПРУ отвечают геотектоническим обстановкам четырёх типов. Узлы *первого типа* приурочены к выступам фанерозойского и более древнего фундамента, которые в течение нескольких тектономагматических циклов развивались в режиме магматогенного поднятия, благоприятном для формирования крупнообъёмных медно-порфиновых РМС. В эту группу входят Хим-Кирганикский, Шаромский, Левинсон-Лессинга, Крутогоровско-Адриановский, Лунтосский, Хиузно-Ушканьинский ПРУ и Пылгинская потенциальная рудная зона. ПРУ *второго типа* выделены для обстановок относительно поднятых блоков фундамента ВПП, где развиты как вулканы, так и плутониты рудоносной ВПА с золото-

серебряными и медно-порфиловыми объектами (Веняваямский, Тыкляваямский, Шаманский, Тымлатский, Кумрочский). ПРУ *третьего типа* (Малетояваямский, Сеэрваямский, Авачинско-Китхойский, Белогорский) представляют вулcano-купольные структуры, сформированные среди выступов и относительно поднятых блоков фундамента и характеризующиеся присутствием золото-серебряных либо медно-мышьяковых проявлений, характерных для периферии комплексных РМС. *Четвёртый тип* составляют Кондыревский и Среднеорловкинский РУ – вулcano-купольные структуры с медно-порфиловыми и золото-серебряными проявлениями в вулканогенно-терригенных толщах в ассоциации с экстрезивно-субвулканическими телами продуктивной ВПА.

Значительная часть ПРУ *первого типа* сосредоточена в Срединном выступе древнего метаморфического фундамента, длительно развивавшемся в режиме поднятия. На его северном фланге выделяется *Хим-Кирганикский комплексный рудный район*, совмещающий проявления рудной минерализации, связанные со становлением Ирунейско-Кирганикского (K_2-P_1) и Корякско-Центрально-Камчатского (P_3-N_2) поясов. Первому принадлежат объекты золото-медного геолого-промышленного типа, второму – медно-порфиловые и полиметаллически-золото-серебряные. Строению и металлогении рудного района посвящены исследования Г.Б.Флерова и А.Б.Колоскова [24], Е.К.Игнатъева (1980, 1999), А.С.Гумовского (1984), Ю.М.Щепотьева [27, 28], В.С.Звездова [6], Ю.Н.Николаева [21].

Проявления золото-медных руд, ассоциирующих с телами рудоносной пироксенит-эссексит-шонкинитовой формации ИК ВПП, сосредоточены в *Хим-Кирганикском* (1 на рис. 1) и *Шаромском* (2) ПРУ. Наиболее изученное *Кирганикское месторождение* локализовано в эндо-экзоконтактной зоне сложенного кольцевого шонкинитового массива, занимающего центральную, наиболее эродированную часть вулcano-купольной структуры (рис. 3). По данным В.С.Звездова [6], рудовмещающие биотит-калийшпатсодержащие метасоматиты охватывают тела порфиroidных биотит-ортоклазовых шонкинитов, внедрившихся в область контакта биотит-авгитовых и диопсид-авгитовых разностей. Пять крутопадающих линзовидных залежей мощностью от 15 до 130 м и протяжённостью от 200 до 1250 м, сложенных титаномагнетит-халькопирит-борнитовыми прожилково-вкрапленными (с Au, Ag, МПГ) рудами, в плане образуют полукольцевую минерализованную зону, опосредованную до глубины 300 м. В промышленных рудах среднее содержание Cu 0,5–0,7%; присутствуют также (в г/т): Au – 0,5–0,7,

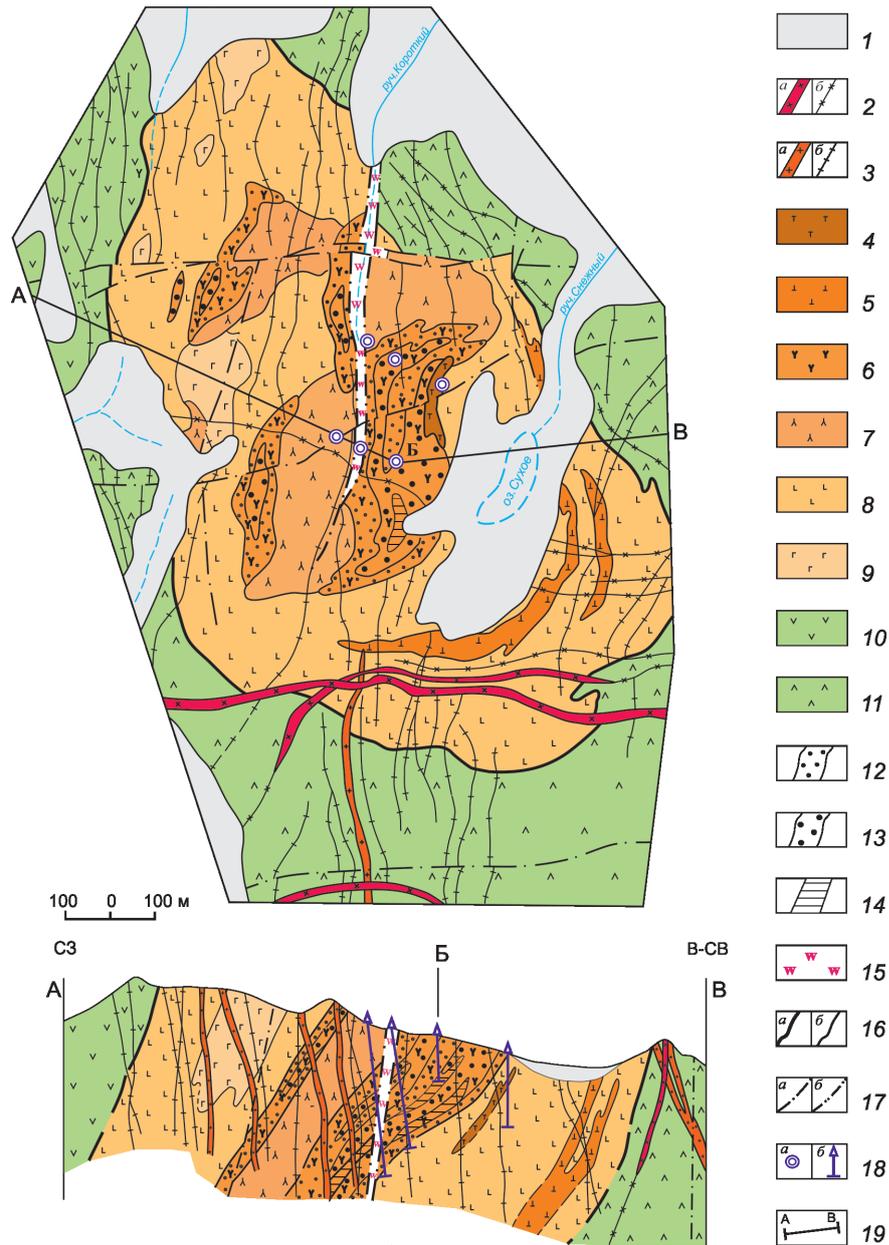


Рис. 3. Геологический план и разрез Кирганикского месторождения [6]:

1 – четвертичные отложения; 2–3 – миоценовые дайки: 2 – кварцевых диоритовых порфиров мощностью (в м): *a* – >10 и *б* – <10, 3 – диабазов, микродиоритов, кварцсодержащих биотит-роговообманковых, роговообманковых и пироксен-рогово-обманковых диоритовых порфиров мощностью (в м): *a* – >10 и *б* – <10; 4–11 – ВПА трахибазальтов-шонкинитов ($K_2 - P_1$): 4–9 – дифференциаты кольцевого щелочного массива (от поздних к ранним): 4–8 – шонкиниты: 4 – крупнопорфировые лейкокрастовые ортоклазовые, 5 – крупнопорфировые авгит-ортоклазовые, 6 – рудоносные крупно- и среднезернистые порфировидные биотит-ортоклазовые, 7 – среднезернистые порфировидные биотит-авгитовые, 8 – мелко- и среднезернистые диопсид-авгитовые, 9 – крупнозернистые ортоклазовые пироксениты; 10–11 – породы субщелочного кирганикского вулканогенного комплекса (лавы, кластолавы, агломератовые лавы, туфы): 10 – трахиандезиты и трахиандезибазальты, 11 – трахибазальты; 12–15 – рудовмещающие метасоматиты: 12 – пироксен-биотит-ортоклазовые с гнездововкрапленными титаномагнетит-халькопирит-борнитовыми рудами ($Cu > 0,5\%$), 13 – биотит-ортоклазовые с прожилково-вкрапленными халькопиритовыми рудами ($Cu 0,3-0,5\%$), 14 – моноортоклазовые с убогой халькопиритовой вкрапленностью ($Cu < 0,3\%$), 15 – кварц-альбит-серицит-карбонат-пиритовые (березитовые) с золото-серебряной минерализацией; 16 – геологические границы (сплошные линии – установленные, пунктирные – предполагаемые): контакты шонкинитового массива с вмещающими породами (*a*), его разновозрастных фаз и иных типов пород (*б*); 17 – разломы: *a* – установленные и *б* – предполагаемые под четвертичными отложениями; 18 – разведочные скважины: *a* – на геологическом плане, *б* – на разрезе; 19 – линия разреза

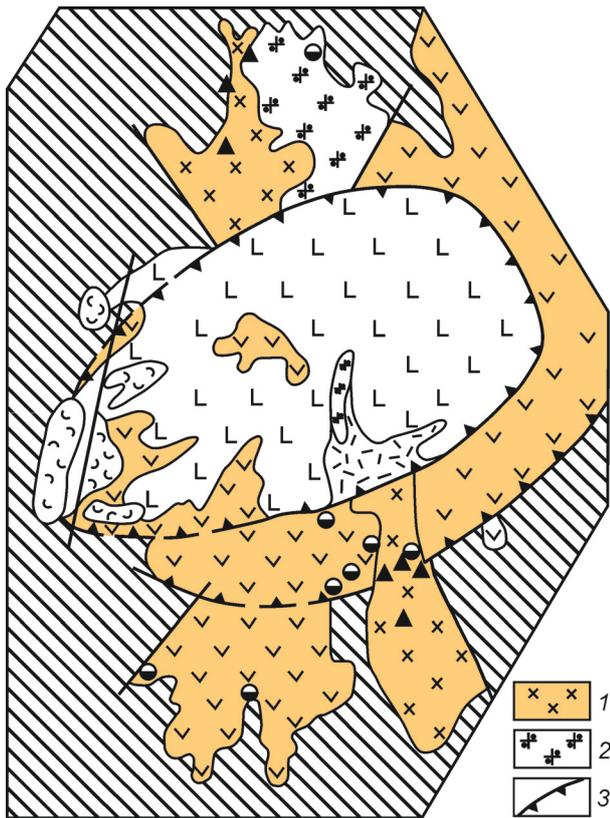


Рис. 4. Схематическая геологическая карта рудного узла Левинсон-Лессинга. По [28], с упрощением:

1–2 – продуктивная габбро-диорит-гранодиоритовая формация: 1 – диориты и кварцевые диориты, 2 – гранодиорит-порфиры; 3 – кольцевые разломы, ограничивающие вулканотектоническую депрессию; см. услов. обозн. к рисункам 1–3

Ag – 6–7, Pt – 0,8, Pd – 1 и V, Co, P. На Кирганикском месторождении учтены прогнозные ресурсы категории P_1 до глубины 200 м: Cu – 480 тыс. т, Au – 50,7 т, Ag – 473,3 т и категории P_2 до глубины 200–500 м: Cu – 425 тыс. т, Au – 42,3 т, Ag – 507 т, Pt – 27 т, Pd – 33,8 т. Имеются перспективы их увеличения за счёт глубоких горизонтов. Расчёт технико-экономических показателей подтвердил рентабельность его освоения открытым способом.

На проявлениях Хим, Сухое, Позднее, Шаромское золото-медная минерализация в биотит-ортотлазовых метасоматитах локализована в субвулканических телах трахиандезитов-трахиандезибазальтов, шонкинитов и вмещающих их вулканитах базальт-андезибазальтовой формации K_2 . Хим-Кирганикский и Шаромский РУ обладают перспективами обнаружения золото-медных руд на глубоких горизонтах известных рудопроявлений (Сухое, Хим, Позднее),

локализованных на верхних уровнях рудоносных вулканоструктур.

Золото-медные объекты «кирганикского» типа отнесены к медно-порфировому семейству в определённой мере условно [6] из-за высокой калиевой щелочности рудоносной пироксенит-эссексит-шонкинитовой формации, не характерной для типичных медно-порфировых месторождений базальтоидных ВПП. Специфической чертой проявлений этого типа является исключительно интенсивная биотитизация и калишпатизация рудовмещающих пород наряду со слабопроявленными серицитизацией, окварцеванием и пиритизацией, характерными для классических медно-порфировых месторождений. Вместе с тем, рассматриваемые золото-медные проявления сформированы в ходе становления базальтоидного ВПП, и их место в формационно-металлогенетических рядах подвижных поясов совпадает с положением месторождений (золото)-медно-порфирового типа [12].

Левинсон-Лессинга ПРУ (3) выделен в северном окончании Срединного выступа фундамента, который вмещает здесь одноимённую вулканоструктуру, сложенную магматитами продуктивной андезит-диоритовой ассоциации КЦК ВПП [28] и почти полностью перекрывающей её андезибазальтовой формации (рис. 4). В окружающих её блоках фундамента размещены медно-порфировые (Лагерное, Туманное) и полиметаллически-золото-серебряные (Оганчинское, Лазурное) проявления. Медно-порфировые руды локализованы в диорит-гранодиоритовых массивах продуктивного лавкинского комплекса, расположенных напротив друг друга в северном и южном обрамлении вулканоструктуры. В рудах проявления Туманное содержание Cu достигает 0,8–1,35%, Mo – 0,01–0,02%, Au – 1,2–5 и Ag – 10–17 г/т. Полиметаллически-золото-серебряные проявления локализованы в породах рамы этих интрузивов, в вулканиках комагматичной базальт-андезибазальт-андезит-дацитовый формации. На Оганчинском проявлении, изученном Ю.М.Щепотьевым [27, 28], кварц-серицит-гидрослюдистые метасоматиты с продуктивными золото-кварцевой и золото-сульфидной ассоциациями слагают жильно-штокверковые зоны в экзоконтакте массива диоритов-кварцевых диоритов с молибден-медно-порфировым проявлением Туманное, причём на участке Интрузивный оба типа руд совмещены.

Золото-серебро-полиметаллические (галенит-сфалерит-халькопиритовые) руды Оганчинского проявления, отличающиеся Au:Ag=1:1–2:1 и возрастающим с глубиной количеством сульфидов, соответствуют золото-полисульфидному минералогеохимическому типу, формирующемуся на поздних этапах образования медно-порфировых месторождений, в их периферических частях [14]. Золото-

полисульфидные и медно-порфировые руды этого ПРУ образованы в ходе становления рудоносной андезит-диоритовой ВПА и тесно связаны в пространстве, что подтверждает их принадлежность единой РМС. Выявление промышленных медно-порфировых руд возможно в выступах фундамента на периферии и глубоких горизонтах вулканоструктуры Левинсон-Лессинга.

Крутогоровско-Адриановский ПРУ (4) находится в центральной части Срединного выступа фундамента, вмещающего интрузивы разного возраста (от K_1 до N_1), что характеризует его как магматогенное поднятие унаследованного развития. Медно-порфировые проявления ассоциируют с массивами рудоносной габбро-диорит-гранодиоритовой формации (лавкинский комплекс, P_3-N_1) КЦК ВПП.

По данным Е.К.Игнатьева и А.С.Гумовского (1988), рудоносные порфировые штоки, прорывающие плутониты ранних фаз продуктивной формации, сопровождаются штокверковыми и вкрапленными молибденово-медными рудами и редкими кварцевыми жилами с молибденитом. На Малахитовом рудопроявлении, приуроченном к фланговой части наиболее крупного полифазного интрузива (рис. 5), вкрапленные и прожилково-вкрапленные молибденово-медные руды локализованы в эндо- и экзоконтактах штока гранодиорит-порфиров. Рудное тело в плане имеет подковообразную форму, размещаясь в филлизитовой зоне по периферии «калишпат-кварцевого ядра» с убогой вкрапленной халькопирит-молибденитовой минерализацией. Средние содержания полезных компонентов в рудах: $Cu - 0,17-0,49$ и $Mo - 0,013-0,014\%$, $Au - \text{до } 0,61$ и $Ag - 10$ г/т, Re в молибдените – 308 г/т. Прогнозные ресурсы меди рудопроявления Малахитовое составляют (в тыс. т): категории $P_1 - 1021$, категории $P_2 - 852,4$ и отнесены к некондиционным. По геологическим и геохимическим данным, это рудопроявление в значительной степени эродировано. Обнаружение промышленных медно-порфировых руд возможно в северном и северо-восточном погружении кровли рудоносного порфирового интрузива.

Другие медно-порфировые проявления рудного узла (*Меридиональное, Озерное, р. Платонич, Квахонское, Адриановское и Право-Хейванское*), локализованные в апикальных частях массивов рудоносного лавкинского комплекса, характеризуются ещё меньшими размерами и низким содержанием полезных компонентов, что определяет невысокие перспективы выявления промышленных скоплений руд.

Лунтосский ПРУ (5) тяготеет к восточному флангу Срединного выступа фундамента, где распространены тела разновозрастных гранитоидов, в том числе продуктивного лавкинского комплекса, и выяв-

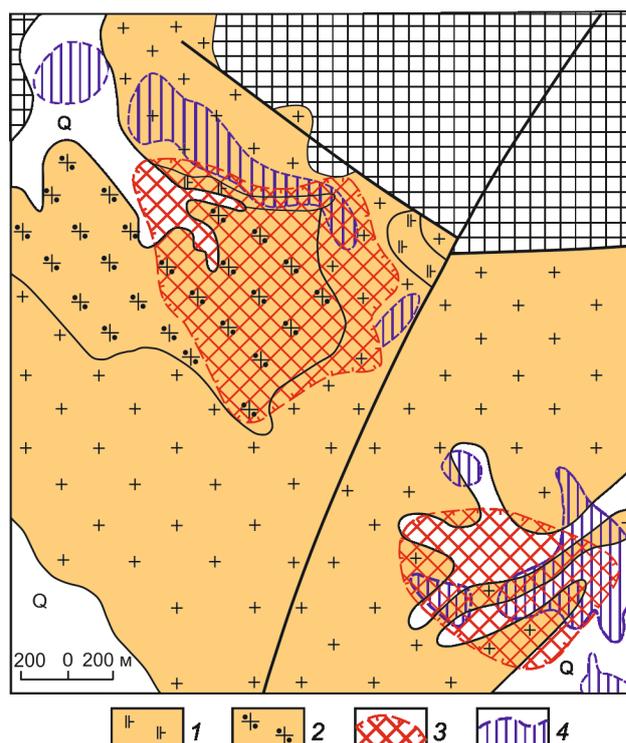


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Малахитового рудопроявления Адриановско-Крутогоровского рудного узла. По Е.К.Игнатьеву и А.С.Гумовскому, 1988:

1–2 – продуктивная габбро-диорит-гранодиоритовая формация: 1 – кварцевые монзониты, 2 – шток рудоносных гранодиорит-порфиров; 3 – предполагаемый контур рудного штокверка, 4 – аномалии вызванной поляризуемости пород; см. услов. обозн. к рисункам 1–3

лены медно-порфировые и золото-полисульфидные проявления [10, 11]. На медно-молибден-порфировом проявлении *Кагнисин* в эндоконтакте дайки гранодиорит-порфиров рудоносной формации в штокверке кварцевых прожилков с молибденитом и халькопиритом содержание $Cu - 0,03$, $Mo - \text{до } 0,13\%$, а на проявлении *Безымянном* – до 0,2 и 0,11%, соответственно. Золото-полисульфидному типу, характерному для периферических частей медно-порфировых РМС, принадлежат проявления *Дождливое* и *Восточное*, связанные с ареалами развития даек гранодиорит-порфиров и характеризующиеся содержаниями Au и $Ag - 5-9$ г/т, $Pb - 3,6$ и $Zn - 0,24\%$. Лунтосский рудный узел слабо изучен, однако его геолого-структурная позиция в краевой части выступа фундамента, насыщенного разновозрастными, в том числе рудоносными, интрузивами, а также сочетание молибден-медно-порфировых проявлений с золото-полисульфидными позволяют рассматривать его

в качестве потенциально перспективного на медно-порфировое оруденение.

Молибден-медно-порфировые проявления на юге Камчатки (*Воеводское, р. Покосная, водораздел руч. Каменистый-Дальний, Красногорское*) известны и в других, более мелких выступах фундамента. Все они весьма слабо изучены, однако их присутствие отражает потенциальную рудоносность многочисленных массивов гранодиоритов–кварцевых диоритов продуктивной формации (P_3-N_1) и определяет данные обстановки как перспективные для обнаружения промышленных медно-порфировых руд.

Пылгинская прогнозируемая рудная зона (6) выделяется на северном фланге ОлВКК ВПП в выступе фундамента, сложенном вулканогенно-терригенным комплексом K_2-P_1 Ачайваям-Валагинской островной дуги [26]. Эта зона отличается исключительно высокой рудоносностью, проявленной как в связи со становлением плутонитов ОлВКК ВПП, продуктивных на медно-порфировые руды, так и с металлогенией предшествующих структурно-вещественных комплексов. Возрастные датировки мелких массивов диоритов, гранодиоритов и кварцевых монзонитов отвечают олигоцену и миоцену [10, 11], что свидетельствует о присутствии здесь как островодужных, так и поясовых плутонитов, в том числе продуктивных на медно-порфировые руды.

С островодужными базальт-андезитобазальтовой и вулканогенно-кремнистой формациями (K_2-P_1) связаны многочисленные пластообразные, жильобразные и штокверковые тела магнетит-сульфидных и кварц-магнетитовых руд, относящихся к водно-силикатному медно-магнетитовому рудно-формационному типу, и гистеромагматических гематит-мушкетовитовых – в пластообразных телах андезитобазальтов. В Кимлинском рудном поле, помимо этих руд, выявлено ещё более 50 крутопадающих халькопирит-магнетитовых (с актинолитом) рудных тел, а также небольшие скопления скарных медных руд в ассоциации с телами диоритов и кварцевых диоритов, которые вместе с вулканидами базальт-андезитобазальтовой формации образуют ВПА (K_2-P_1) базальтоидного ВПП.

С многочисленными мелкими массивами гранитоидов (P_3), широко развитыми на тех же площадях, сопряжены проявления жильно-штокверкового типа с повышенными концентрациями Cu и Au. Дайки и штоки диоритов и монзонитоидов потенциально рудоносной миоценовой диорит-гранодиоритовой формации ОлВКК ВПП сопровождаются золото-полисульфидными (Росомаха, Блеск, Емьет, Корень, Пылгинский, Клад), жильными полиметаллическими (Встречное), ртутными (Олоторское) и сурьмяно-мышьяковыми (Гиткалион) проявлениями. Некото-

рые из них могут принадлежать периферии порфировых РМС, во внутренних зонах которых локализованы медно-порфировые проявления Находка, Среднеауктаямское, Пинкилиной и Кустовка. Приведённые данные свидетельствуют о перспективах Пылгинской рудной зоны на медно-порфировое оруденение.

Медно-порфировые ПРУ *второго типа* (Венявямский, Шаманкинский, Тымлатский и Тыкляваямский) выделены в среднем звене КЦК ВПП (в Северо-Камчатском рудном районе), в пределах относительно поднятого блока фундамента, обнажающегося в горстообразных выступах (Лесновском, Озерновском) и эрозионных окнах среди вулканогенных пород миоценовой базальт-андезит-дацитовой формации КЦК и ПЗК ВПП [10]. Здесь распространены как вулканы, так и плутониты рудоносной андезит-диоритовой ВПА, а молибден-медно-порфировые проявления ассоциируют с золото-полисульфидными и золото-серебряными. Обнаружение промышленных объектов медно-порфирового типа в связи с продуктивной габбро-диорит-гранодиоритовой формацией N_1 наиболее реально в блоках мел-палеогенового основания этих поясов.

Известные молибден-медно-порфировые проявления (Лазурное-Сиганектан, Линверинваям, Вилюноваям, Лагерный), связанные с плутонитами андезит-диоритовой ВПА, слабо изучены. Среди проявлений золото-полисульфидного типа наиболее значительными являются Скалистое, Амбух и Тыкляваям, локализованные в апикальной части и экзоконтактной зоне массива миоценовой диорит-гранодиоритовой формации, продуктивной на медно-порфировые руды. Присутствуют также золото-серебряное месторождение (Озерновское) и проявления (Ламутское и др.), содержащие сульфосольную фаматинит-энаргит-люцитовую минерализацию в сочетании с самородной серой в алунитовых кварцитах, что свойственно надрудным и фланговым зонам комплексных РМС с медно-порфировыми рудами во внутренних частях.

Венявямский ПРУ (7) охватывает Сиганектанский выступ фундамента ВПП с многочисленными телами островодужных (K_2-P) и поясовых (N_1) гранитоидов, что отвечает благоприятной геолого-структурной обстановке для нахождения медно-порфирового объекта. С телами гранодиорит-порфиров рудоносной формации ассоциируют медно-порфировое рудопроявление *Лазурное (Сиганектан)*, представленное зонами прожилково-вкрапленной минерализации с содержанием Cu 0,2, 1,0 и 4,5% в гранодиоритах, а с андезитами миоцена – поля алунитовых кварцитов и ртутное *Гаткальское* проявление [11].

В **Тыкляваямском ПРУ** (8) проявление *Амбух* локализовано в восточном экзоконтакте крупного

гранодиоритового интрузива продуктивной формации, в комагматичных вулканитах миоценовой андезит-диоритовой ВПА, преобразованных в аргиллизиты и вторичные кварциты. На этом проявлении пространственно совмещена минерализация золото-полисульфидного и молибден-медно-порфиорового типов, что обусловило повышенные концентрации соответствующих рудных элементов (в %): Cu – 0,5, Mo – 0,1, Pb – до 8, Zn – до 17, а Au и Ag – до 10 г/т. В вулканитах той же формации в РУ размещено медно-цеолитовое проявление р. Линвиреням, представленное цеолитовыми прожилками с малахитом, халькозином, халькопиритом и борнитом, а также золото-сурьмяное проявление Баритовое.

В **Шаманкинском ПРУ** (9) медно-порфиоровые (Правый Вилюневаям, высота 685) и золото-серебряное (Левый Вилюневаям) проявления Вилюневаямского потенциального рудного поля локализованы в серицит-кварцевых метасоматитах и аргиллизитах и сопряжены с мелкими телами гранодиорит-порфиров рудоносного шаманкинского комплекса (P_2), расположенными в северо-восточной надинтрузивной зоне крупного полифазного массива ПЗК ВПП. Содержания полезных компонентов в золото-медных проявлениях составляют: Cu – 0,5%, Au – от 3,6 до 6,7 г/т, Ag – до 30 г/т.

Тымлатский ПРУ (10), изученный С.С.Вартаняном, Ю.Н.Родионовым и А.Н.Некрасовой (2002), представляет собой частично эродированную вулканокупольную структуру, сложенную магматитами рудоносной андезит-диоритовой ВПА (рис. 6). Её центральная зона вмещает субвулканические тела андезитов, андезидацитов и гранит-порфиров, а на флангах развиты экструзивно-лавовые и пирокластические фации вулканитов базальт-андезит-риодацитово-формации $N_1-N_2^1$. В штоке гранит-порфиров, в филлизитовой метасоматической зоне локализована прожилково-вкрапленная золото-медно-порфиоровая минерализация пирит-халькопиритового и золото-борнит-халькопирит-пиритового (с гематитом) состава. На южном фланге структуры в риодацитовых экструзивах, завершающих становление рудоносной формации, локализованы промышленные золото-полисульфидные руды. Вышеназванными исследователями сделан вывод о принадлежности тех и других к РМС с латеральной рудной зональностью, соответствующей ряду $Fe \rightarrow Cu + Au \rightarrow Cu \rightarrow Pb + Zn + Au \rightarrow Au$. Выявление промышленных медно-порфиоровых руд возможно как на более глубоких горизонтах Центральной зоны, так и в примыкающих к ней выступах фундамента, перекрытых предпоясовой молассой.

Кумрочский ПРУ (11) приурочен к одноимённому относительно поднятому блоку фундамента ОлВКК

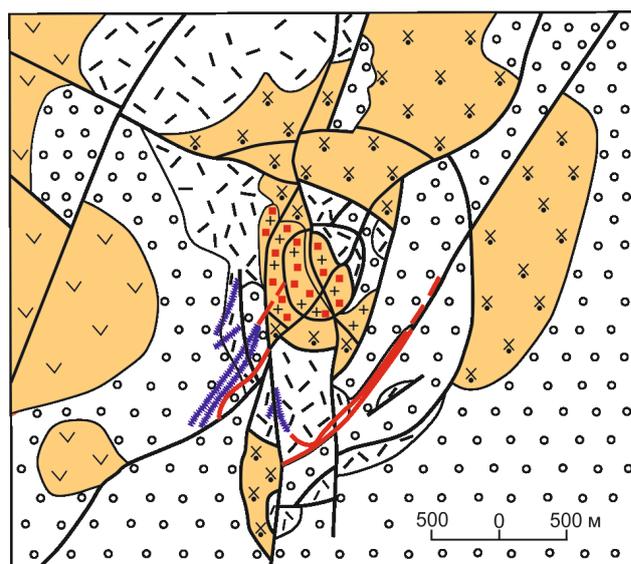


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Тымлатского рудного узла. По данным ОАО Камгео, 2000:

1–2–продуктивная габбро-диорит-гранодиоритовая формация: 1 – порфиоровые кварцевые диориты, 2 – гранит-порфиры; 3–5 – проявления рудной минерализации: 3 – золото-серебряной – крутопадающие минерализованные зоны и рудные тела (а – установленные, б – предполагаемые), 4 – молибден-медно-порфиоровой существенно гематитовой, 5 – линейных кварцевых штокверков; см. услов. обозн. к рисункам 2, 3

ВПП, сложенному вулканогенно-кремнисто-терригенными толщами (K_2-P_1). Рудоносная андезит-диоритовая ВПА ($P_3-N_1^1$) представлена крупным интрузивным массивом и рядом мелких тел, а комагматичные вулканиты андезит-дацитово-формации развиты в ограниченном объёме. В этом узле изучены (с применением буровых работ) золото-адуляр-кварцевые проявления Кумроч и Круча, представленные жильно-штокверковыми зонами в аргиллизитах, филлизитах и кварцитах в ассоциации с мелкими телами порфиоровых кварцевых диоритов и экструзивами дацитов. Состав жил и прожилков (кварц, адуляр, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, блёклые руды, аргентит, золото) в целом соответствует золото-полисульфидному типу руд медно-порфиоровых месторождений, отличаясь лишь присутствием адуляра. А.Г.Шадриним (2001) в рудах проявления Кумроч выделена ранняя золото-полисульфидная минеральная ассоциация с содержанием (в %): Cu – 0,9–1,1, Pb – 2,1–2,8 и Zn – 3,87, сменяющаяся

по восстанию рудной зоны золотой и поздней золото-аргентитовой.

Непромышленная медно-порфировая минерализация подсечена скважинами на глубоких горизонтах проявления Кумроч, а на поверхности присутствует на наиболее эродированных периферийных участках рудного узла, где представлена проявлениями Водопадным – кварцевыми штокверками с пиритом, халькопиритом, магнетитом и медной зеленью с содержанием Cu – 0,4% и Au – до 2,4 г/т в диоритовых порфиритах и руч. Фирновый (В.А.Кучуганов, 1987), где в обломках филлизитов и кварцитов содержание Cu – 1,55%, Au – 0,5–3,0 (до 10,4) г/т, Ag – 5 г/т [11]. Именно с этими участками, изученными только с поверхности, связываются перспективы обнаружения медно-порфировых руд в Кумрочском ПРУ.

В качестве *третьего типа* рассматриваются рудные узлы, представляющие собой вулcano-купольные структуры с проявлениями минерализации, свойственной периферическим частям комплексных РМС с медно-порфировыми рудами во внутренней зоне – золото-полисульфидной, медно-мышьяковой, сульфидно-алунито-серной и др. Образование этих типов минерализации в ходе становления андезит-диоритовой ВПА, продуктивной на медно-порфировые руды, их пространственная сближенность с медно-порфировыми проявлениями, установленная в ряде районов [7, 12, 28, 31, 34], позволяют предполагать их принадлежность к комплексным РМС, что со значительной долей условности с учётом благоприятных геоструктурных обстановок и признаков медно-порфирового оруденения позволяет рассматривать такие площади как возможно потенциально перспективные медно-порфировые рудные узлы.

Среди них – близкие по строению Малетойваямский (12) и Сеэраямский (13) рудные узлы в северном сегменте КЦК ВПП, в Ильпинском рудном районе с крупными месторождениями самородной серы в апоэффузивных вторичных кварцитах и проявлениями медно-мышьяковой (энаргит-люционитовой) Au-Ag -содержащей минерализации. Рудоносной является миоценовая андезит-диоритовая ВПА: для месторождений серы – вулканиты андезит-дацитово-формации, для медно-мышьяковых проявлений – штоки диоритовых порфиритов – аналогов лавкинского комплекса, продуктивного на медно-порфировые руды. Менее распространены Au-Ag , Au-Sb-Hg и As-Sb-Hg проявления, также сопряжённые с магматитами этой ВПА. Предполагается, что медно-мышьяковая сульфосолевая минерализация в серосодержащих вторичных кварцитах, как и на ряде известных месторождений (Лахоца-Речк в Венгрии, Ми-Вида в Аргентине и др.), принадлежит верхним частям РМС типа «интрузив под вулканом», что даёт

основание предполагать присутствие в этих рудных узлах не вскрытых эрозией медно-порфировых месторождений.

В *Малетойваямском ПРУ* (12) во внутренней зоне и на периферии одноимённой вулканической постройки, сложенной породами рудоносной андезит-дацитовой формации N_1 , присутствуют проявления медно-мышьяковых (типа «высокой сульфидизации») руд участков Юбилейный и Октябрьский. По данным А.Г.Волчкова и В.С.Звезда [3], центральная зона Малетойваямской постройки вмещает массив апоэффузивных серосодержащих вторичных кварцитов с линзами серноколчеданных руд, медно-мышьяковой сульфосолевой минерализацией (участок Юбилейный) и мелкими телами диоритовых порфиритов – апофизами находящегося на глубине крупного гранитоидного массива (рис. 7). Пржилково-вкрапленная медно-мышьяковая минерализация представлена сульфоарсенатами меди – энаргитом и люционитом. Содержание Cu от 0,01 до 0,2%, иногда достигает 1,2–2,7%. Характерны повышенные концентрации As , Hg , а также Au до 0,6 и Ag до 20 г/т, чем определяется отнесение этих руд к золото-серебряному рудно-формационному типу.

На периферии Малетойваямской вулканоструктуры присутствуют Октябрьское и Вамтуваямское Au-Ag -содержащие медно-мышьяковые проявления, сопряжённые с мелкими штоками порфировых диоритов [3]. Они представлены зонами карбонат-андалузит-кварцевых метасоматитов с пиритом, энаргитом, аурипигментом, реальгаром, борнитом и халькопиритом с содержаниями Cu от 0,3 до 3,5 и As до 2%, а также повышенными концентрациями Au и Ag .

В *Сеэраямском ПРУ* (13) в такой же вулканоструктуре и на её периферии выявлены проявления прожилково-вкрапленной медно-мышьяковой (энаргит-люционитовой) минерализации в сероносных алунитовых кварцитах, золото-серебряной – в пропилилизированных вулканитах, штокверковой борнит-халькопиритовой – в карбонат-андалузит-кварцевых метасоматитах эндо-экзоконтатных зон порфировых штоков потенциально рудоносной ВПА. Они сопровождаются геохимическими аномалиями Au , Cu , Zn , Pb , Mo .

Геолого-поисковыми работами уже подтверждена перспективность некоторых участков рассматриваемых ПРУ на обнаружение объектов Au-Ag -содержащих руд типа высокой сульфидизации. Установленные в их пределах латеральные пространственные соотношения между Au-Ag - и медно-порфировыми проявлениями не исключают вероятность обнаружения промышленной медно-порфировой минерализации в более глубоких зонах РМС.

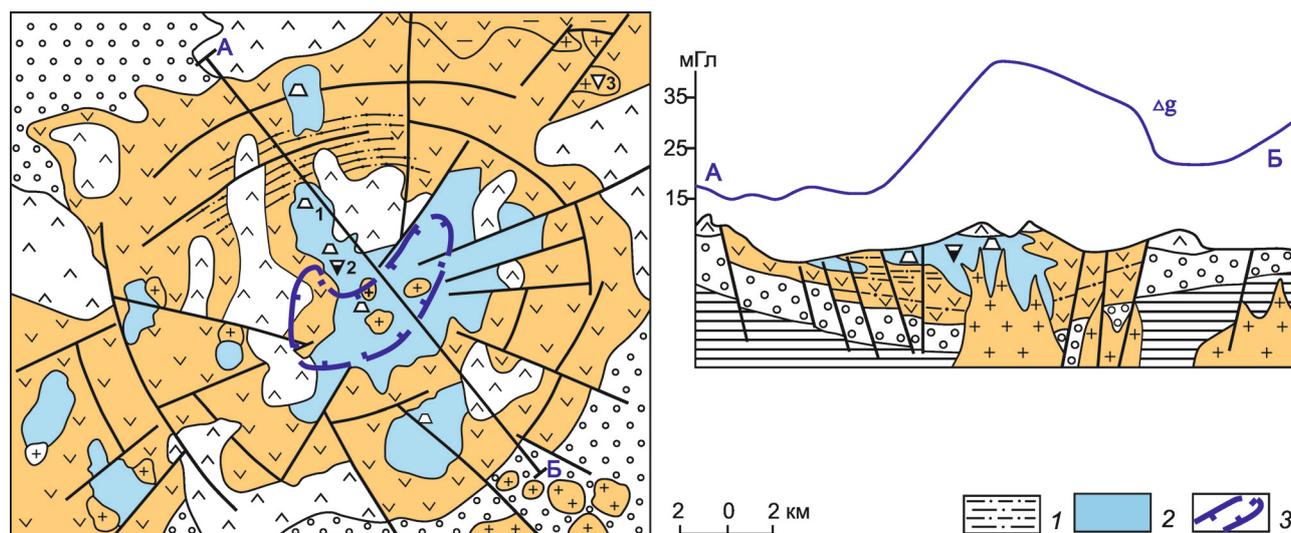


Рис. 7. Схематическая геологическая карта и разрез Малотуйаямского рудного узла. По [3] и данным А.Е.Конова, Л.Л.Ляшенко, 1974:

1 – вулканомиктовые породы в разрезе продуктивной формации; 2 – рудовмещающие метасоматиты нерасчленённые (преимущественно апоэффузивные кварциты); 3 – контур аномалии силы тяжести интенсивностью более 40 мГл.; см. услов. обозн. к рисункам 1–3

Авачинско-Китхойский РУ (14) в южном звене ОлВКК ВПП расположен на сочленении ряда геоструктур, ограниченных разломами: Центрально-Камчатского грабена, выступов фундамента, вулканотектонических депрессий с золото-серебряными месторождениями Южно-Камчатского рудного района. Рудный узел образован цепочкой вулкано-купольных структур (Скалистой, Лево-Авачинской, Удачной, Китхойской) северо-западного простирания, ограниченной со всех сторон относительно поднятыми блоками и выступами фундамента (рис. 8). Структуры сложены магматитами рудоносной андезит-диоритовой ВПА ($P_3-N_1^1$). Их центральные части содержат тела порфировых диоритов и кварцевых диоритов, которые на верхних уровнях сменяются экструзивно-субвулканическими телами андезитов, а на склонах – лавами и пирокластами андезитов, андезидацитов и дацитов.

По данным В.А.Кучуганова (1987) и [11], известные здесь рудопроявления (Китхойское, Рвущее, Звездная Даль, Удачное) полиметаллически-золото-серебряного типа, представленные жильно-прожилковыми зонами, локализованы во внутренних частях вулканокупольных структур, в диоритах и экструзивно-субвулканических андезитах. Наиболее значительное *Китхойское проявление* приурочено к структуре, вмещающей довольно крупный массив диорит-гранодиоритовой формации (N_1^1), потенциально продук-

тивной на медно-порфировые руды. Диориты, гранодиорит-порфиры, андезиты и андезидациты внутренней зоны пропилитизированы и на отдельных участках превращены в кварц-гидрослюдистые, кварц-адуляровые и монокварцевые метасоматиты, вмещающие около 50 кварцевых жил и жильно-прожилковых зон. Руды содержат до 10–15% сульфидов; средние содержания Au и Ag в наиболее изученной жиле составляют 5,05 и 3,5 г/т, соответственно. Элементами-спутниками являются Cu, Zn и Pb. На рудопроявлении *Звездная даль* штокверки и пучки жил типа «конского хвоста» сложены агрегатами кварца, хлорита, карбоната и барита с богатой вкрапленностью халькопирита, пирита, галенита, сфалерита. Помимо Au (до 3 г/т) и Ag (до 30 г/т), в них установлены повышенные содержания (в %): Cu – 0,5–2,55, Mo – >0,03, Pb – 0,7–3,46, Zn – 0,4–1,52.

По данным В.А.Кучуганова (1987) и [28], проявления Авачинско-Китхойского РУ существенно отличаются от полиметаллически-золото-серебряных месторождений Южно-Камчатского РР, для которых в качестве рудоносной выступает та же андезидацитовая формация ($P_3-N_1^1$). Для рассматриваемых проявлений характерен более простой минеральный состав (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит), высокая сульфидность руд (до 10–40%), а также существенная роль в составе раннепродуктивного комплекса золото-халькопиритовой ассоциации с тонким

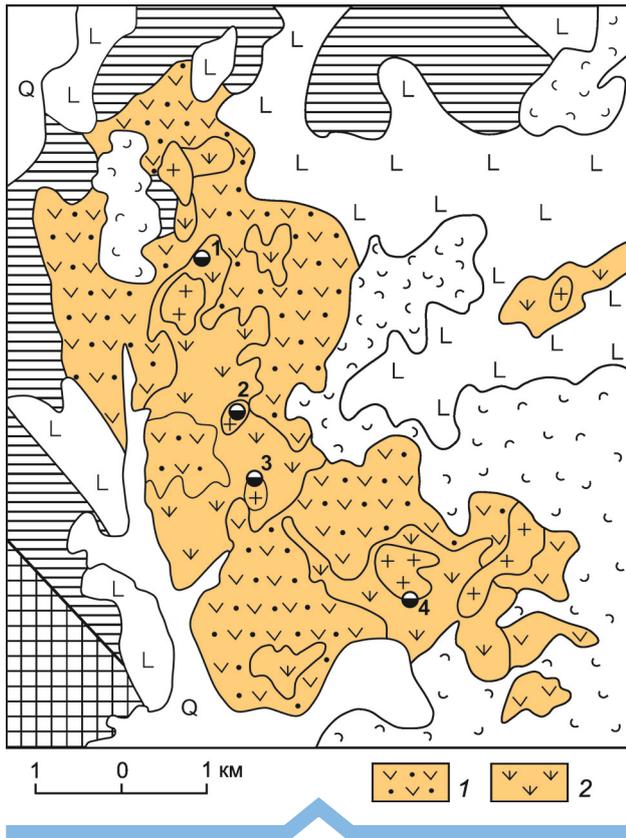


Рис. 8. Схематическая геологическая карта Авачинско-Китхойского рудного узла. По данным В.А.Кучуганова, 1988, А.И.Жамойды и др., 1993:

1–2 – продуктивная андезит-дацитовая формация: 1 – андезиты, андезидациты, дациты – лавы и туфы, 2 – андезиты – экструзивно-субвулканические фации; проявления золото-полисульфидного типа: 1 – Звездная даль, 2 – Рвущее, 3 – Удачное, 4 – Китхойское; см. услов. обозн. к рисункам 1–3

самородным золотом более высокой (720–822) пробы. Отличает их и слабая сереброносность руд ($Au:Ag=1:3-5$), высокие (до десятков г/т) концентрации золота, преобладание Te над Se . Поздний продуктивный золото-адуляр-кварцевый комплекс, широко развитый в Южно-Камчатском РР, на проявлениях этого РУ составляет не более 1% руд.

Характеристики проявлений Авачинско-Китхойского РУ указывают на их сходство с золото-полисульфидным типом руд, формирующимся на поздних этапах становления медно-порфировых месторождений [14]. Этот факт, а также благоприятная структурная позиция в относительно поднятом блоке фундамента ВПП на пересечении крупных разломов ставят Авачинско-Китхойский узел в ряд возможно перспективных на выявление промышленных медно-порфировых руд в составе комплексных РМС. С учётом фактора латеральной рудно-форма-

ционной зональности, установленного на ряде подобных объектов [19], для обнаружения медно-порфировых руд перспективны выступы фундамента на периферии вулкано-купольных структур, которые вмещают интрузивные массивы продуктивной формации.

Белогорский (Вочвиаямский) РУ (15) на северном фланге ОлВКК ВПП представляет собой одноимённую вулканоструктуру, сложенную андезитами (N_1), которые вместе с дайками и штоками диоритовых порфиров образуют потенциально рудоносную андезит-диоритовую ВПА. Распределение разных по составу проявлений рудной минерализации подчинено вертикально-латеральной зональности. В выступе фундамента на северном фланге вулканоструктуры массив диоритовых порфиров и дайки гранодиорит-порфиров сопровождаются штокверковой борнит-халькопиритовой минерализацией с содержанием Cu до 1,39%. На её юго-западном фланге в такой же обстановке размещены жильно-штокверковые руды мелкого полиметаллического месторождения Мир с содержанием (в %): Pb – 0,37–6,1, Zn – 0,66–12,5%, Cu – до 0,87; Au – до 69 и Ag – до 296,8 г/т [11] и проявления золото-полисульфидного типа, представленные кварц-карбонатными штокверками с повышенным содержанием Au , Ag , Pb , Zn и Cu . На южной периферии вулканоструктуры в породах палеогенового основания со штоками и дайками гранодиорит-порфиров и диорит-порфиров продуктивной ВПА сопряжены проявления Ag (Кварцит), As и Sb (Ольгон).

Вертикально-латеральная рудная зональность Белогорского РУ, выраженная сменой штокверковых борнит-халькопиритовых проявлений, локализованных в относительно поднятом блоке фундамента, – полиметаллическими и золото-полисульфидными на флангах и верхних горизонтах вулканоструктуры, а также проявлениями Ag , As и Sb на её периферии, позволяет рассматривать этот узел как слабо эродированную комплексную РМС, потенциально перспективную на обнаружение медно-порфировых руд во внутренней зоне.

Другим примером рудоносных вулкано-купольных структур, выделенных в **четвёртый тип** ПРУ, являются Кондыревская (16) и Среднеорловкинская (17) в западном борту Пенжинского прогиба, в которых известны золото-серебряные и медно-порфировые проявления в вулканогенно-терригенных толщах, ассоциирующие с экструзивно-субвулканическими телами андезидацитов, риодацитов и гранит-порфиров продуктивной ВПА (P_{2-3}) Оклано-Пенжинского ВПП [4].

В **Кондыревском РУ** (16) медно-порфировые проявления с содержанием Mo до 0,035–0,3 и Cu до 0,1–0,4%, а Ag 3,7 и Au 0,4 г/т локализованы в экструзиве

андезидацитов и вмещающих его пиритизированных молассоидов основания ВПП. В аналогичной позиции находится золото-серебряное проявление полисульфидного типа в *верховьях р. Правая Кондырева*, где кварцевый штокверк с вкрапленностью халькопирита, гематита и галенита содержит Au 0,1–1 г/т (до 18 г/т), Ag 1,5–10 г/т (до 282 г/т) и повышенные концентрации Cu, Mo, Pb, Zn. Проявление сопровождается аллювиальной россыпью золота с интрузивом диоритов в плотике. С учётом повышенных содержаний не только Au и Ag, но и Cu, Mo, Pb и Zn, а также преобладания высокопробного золота и присутствия невоскрытого диоритового интрузива золото-серебряное проявление может представлять внешнюю часть медно-порфировой РМС.

В *Среднеорловкинском РУ* (17) в такой же вулканокупольной структуре с мелкими телами кварцевых диорит-порфиров потенциально рудоносной формации (P₂₋₃) сопряжены зоны сульфидизации с повышенным содержанием Cu от 0,1–0,3 до 1%, Mo – до 0,01%, Au – 0,2 и Ag – до 15 г/т, также сопровождающиеся россыпью золота.

Невысокие содержания полезных компонентов позволяют оценивать Кондыревский и Среднеорловкинский рудные узлы лишь как возможно перспективные на обнаружение промышленных медно-порфировых руд. Вместе с тем, в более благоприятной обстановке Мургалевского выступа фундамента, вмещающего плутониты потенциально продуктивных формаций Окрано-Пенжинского и Охотско-Чукотского ВПП, к этим узлам примыкает *Хиузно-Ушканьинский ПРУ* (18) с медно-порфировыми (Тайное, Гальмитка) и золото-полисульфидными (Кедровое, Булу) проявлениями, обширными геохимическими и металлотрическими ореолами Cu и Au и другими признаками потенциальной перспективности на медно-порфировое оруденение.

Вышеописанные рудные узлы с установленными прямыми и косвенными поисковыми признаками медно-порфирового оруденения различаются степенью перспективности на обнаружение промышленных объектов. Наиболее перспективны ПРУ первого типа, размещённые в выступах фундамента с длительным режимом становления в режиме поднятия. К ним относится Крутогоровско-Андриановский ПРУ, к сожалению, утративший свою промышленную значимость из-за значительного эрозионного среза. Узлы второго и третьего типов равноценны по степени перспективности. ПРУ четвёртого типа – вулканокупольные структуры, оценка перспектив которых основана на предположении о принадлежности известных в их пределах рудопоявлений медно-порфировым РМС, рассматриваются только как возможно перспективные.

Выводы. Возможность оценки перспектив Корякско-Камчатского региона на медно-порфировое оруденение определяется следующими факторами:

- на территории региона выделено несколько андезитовидных и базальтоидных ВПП – геоструктур, как правило, вмещающих медно-порфировые месторождения;

- в ВПП установлены продуктивные на медно-порфировые руды ВПА и плутоногенные формации, с которыми также связаны золотосодержащие медно-мышьяковые и золото-полисульфидные проявления, возможно, принадлежащие единым РМС с комплексной металлогенией;

- выделенные потенциальные рудные узлы с медно-порфировыми проявлениями локализованы в поднятых блоках фундамента или основания в структуре ВПП.

Всё это позволяет с определённой долей условности рассматривать Корякско-Камчатский регион как потенциальную медно-порфировую провинцию. В то же время необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства:

- большинство перспективных площадей в ранге потенциальных рудных узлов недостаточно изучены, что не позволяет локализовать в их пределах участки для постановки поисковых работ на медно-порфировое оруденение;

- известные проявления медно-порфирового типа, кроме Кирганикского и Малахитового, отличаются незначительными размерами и сравнительно низкими содержаниями полезных компонентов;

- на обширных площадях рудоносные ВПА и плутониты продуктивной формации перекрыты более молодыми вулканогенными образованиями, в том числе четвертичными;

- относительно высокое положение эрозионного среза ВПП определяет большие глубины (сотни метров–первые километры) нахождения внутренних, потенциально продуктивных на медно-порфировые руды частей РМС, оценка которых бурением в настоящее время экономически нецелесообразна.

Таким образом, несмотря на потенциальную возможность обнаружения медно-порфировых месторождений в ВПП Корякско-Камчатского региона, из-за слаборазвитой инфраструктуры территории, значительных затрат на геологоразведочные работы и экологических проблем приоритетным направлением ГРП в ближайшей перспективе представляется проведение прогнозно-минерагенических работ на площадях с проявлениями золотосодержащих медно-мышьяковых и золото-полисульфидных руд, что не исключает целевых поисков на наиболее перспективных проявлениях медно-порфирового типа.

Авторы признательны Татьяне Александровне Чуриловой за помощь в оформлении иллюстраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.В., Авилова О.В., Васюков В.Е. и др. Медно-порфировые проявления Юго-Западной Чукотки и перспективы обнаружения промышленных объектов // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 32–47.
2. Вартамян С.С. Рудоносность неогеновых магматических формаций Центральной и Южной Камчатки // Труды ЦНИГРИ. – 1986. – Вып. 212.
3. Волчков А.Г., Звездов В.С. Природа проявлений медно-мышьяковой минерализации Малотойвямского стратовулкана // Руды и металлы. – 1997. – № 5. – С. 44–52.
4. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Объяснительная записка. Лист Р-58, 59. – Л.: ВСЕГЕИ, Аэрогеология. – 1985. – 183 с.
5. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Полезные ископаемые. Лист Р-58, 59. – Л.: ВСЕГЕИ, Аэрогеология. – 1987. – 150 с.
6. Звездов В.С. Геология и генезис Кирганикского золото-медного месторождения Камчатки // Отечественная геология. – 1997. – № 5. – С. 13–17.
7. Звездов В.С., Минина О.В. Рудно-магматические системы вулcano-плутонических поясов Востока России // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 48–59.
8. Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Прогностико-поисковые модели комплексных рудно-магматических систем вулcano-плутонических поясов Востока России // Отечественная геология. – 2011. – № 3. – С. 13–21.
9. Зинкевич В.П., Колодяжный С.Ю., Брагина Л.Г. и др. Тектоника восточного обрамления Срединнокамчатского массива метаморфических пород // Геотектоника. – 1994. – № 1. – С. 81–96.
10. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000 // Гл. редакторы: А.Ф.Литвинов, М.Г.Патока, Б.А.Марковский. Отв. редакторы-составители: Ю.Ф.Фролов, А.А.Коляда, А.И.Поздеев, Л.Е.Павлова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
11. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния полезных ископаемых // Гл. редакторы: А.Ф.Литвинов, М.Г.Патока, Б.А. Марковский. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 563 с.
12. Кривцов А.И., Звездов В.С., Минина О.В., Мигачев И.Ф. Медно-порфировые месторождения // Серия: Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
13. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф. Металлогения андезитовидных вулcano-плутонических поясов. Ч. I. – М.: ЦНИГРИ, 1997. – 327 с.
14. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Зональность и золотоносность рудмедно-порфировых месторождений // Геология, методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1985. – 47 с.
15. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфировые месторождения мира. – М.: Недра, 1986. – 236 с.
16. Мигачев И.Ф. Палеотектоническая позиция мезозойских вулcano-плутонических поясов востока России // Отечественная геология. – 2009. – № 4. – С. 18–29.
17. Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Мезо-кайнозойские вулcano-плутонические пояса – новая перспективная медно-порфировая провинция Юго-Западной Чукотки // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 12–23.
18. Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. – 2015. – № 1. – С. 74–92.
19. Минина О.В. Модель Каульдинской рудно-магматической системы (Узбекистан) как основа прогноза и поисков эпitherмальных месторождений золота // Руды и металлы. – 2006. – № 3. – С. 83–90.
20. Минина О.В., Звездов В.С., Мигачев И.Ф. и др. Крупные медно-порфировые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция. Вып. 6. – М.: ВИЭМС, МГП «Геоинформмарк», 1991. – 54 с.
21. Николаев Ю.Н. Геохимические модели металлогенических зон, рудных районов и узлов Камчатско-Курильской провинции // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2003. – № 4. – С. 25–39.
22. Стефанов Ю.М., Широкий Б.И. Металлогения верхнего структурного этажа Камчатки. – М.: Наука, 1980.
23. Филатова Н.И. Периокеанические вулканогенные пояса. – М.: Недра, 1988. – 264 с.
24. Флеров Г.Б., Колосков А.Б. Щелочной базальтовый вулканизм Центральной Камчатки. – М.: Наука, 1976. – 134 с.
25. Хворостов В.П., Зайцев В.П. Рудоносные магматические комплексы Ичигин-Уннэйвямского района // Тихоокеанская геология. – 1983. – № 2. – С. 42–48.
26. Шапиро М.Н. Позднемеловая Ачайвям-Валагинская дуга (Камчатка) и кинематика плит Северной Пацифики // Геотектоника. – 1995. – № 1. – С. 58–70.
27. Щепотьев Ю.М. Особенности минерализации Оганчинского рудного поля (Камчатка) // Труды ЦНИГРИ. Вып. 96. Ч. I. – М., 1971. – С. 46–57.
28. Щепотьев Ю.М., Вартамян С.С., Орешин В.Ю., Гузман Б.В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. – М.: ЦНИГРИ, 1989. – 244 с.
29. Corbett G.J., Leach T.M. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization // Special Publication of Society of Economic Geologists, INC. – 1998. – № 6. – 237 p.
30. Hedenquist J.W., Arribas A.J., Reynolds J.R. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines // Economic Geology. – 1998. – Vol. 93. – P. 373–404.
31. Hollings P., Baker M.J., Orovan E., Rinne M., editors. A Special Issue Devoted to Porphyry and Epithermal Deposits of the Southwest Pacific // Economic Geology. – 2018. – Vol. 113. – P. 1–6.
32. Muntean J.L., Einaudi M.T. Porphyry gold deposits of the Refugio district, Maricunga belt, Northern Chile // Economic Geology. – 2000. – Vol. 95. – P. 1445–1472.
33. Sillitoe R.H. Porphyry-copper systems // Economic Geology. – 2010. – Vol. 105. – P. 3–41.
34. Sillitoe R.H., Perello J., Vidal C.E., editors. Andean metallogeny: new discoveries, concepts, and updates // Special Publication of Society of Economic Geologists, INC. – 2004. – № 11. – 318 p.

REFERENCES

1. *Andreyev A.V., Avilova O.V., Vasyukov V.Ye. et al.* Medno-porfirovyeye proyavleniya Yugo-registratsii Chukotki i perspektivy obnaruzheniya promyshlennykh ob'yektov [Copper-porphyry manifestations of the South-registration of Chukotka and prospects for the discovery of industrial objects]. *Otechestvennaya geologiya*. 2014. No. 6. P. 32–47
2. *Vartanyan S.S.* Rudonosnost' neogenovykh magmaticheskikh formatsiy Tsentral'noy i Yuzhnoy Kamchatki [Ore content of the Neogene magmatic formations of Central and South Kamchatka]. *Trudy TSNIGRI*. Is. 212. Moscow. 1986.
3. *Volchkov A.G., Zvezdov V.S.* Priroda proyavleniy medno-mysh'yakovoy mineralizatsii Maletoyvayamskogo stratovulkana [The nature of manifestations of copper-arsenic mineralization of the Maletoyvayamskii stratovolcano]. *Rudy i metally*. 1997. No. 5. P. 44–52.
4. *Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:1 000 000. Ob'yasnitel'naya zapiska. List R-58, 59* [Geological map of the USSR. Scale 1: 1,000,000. Explanatory note. Sheet R-58, 59]. Leningrad, VSEGEI, Aerogeologiya publ. 1985. 183 p.
5. *Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:1 000 000. Poleznyye iskopayemye. List R-58, 59* [Geological map of the USSR. Scale 1: 1,000,000. Minerals. Sheet R-58, 59]. – Leningrad, VSEGEI, Aerogeologiya publ. 1987. 150 p.
6. *Zvezdov V.S.* Geologiya i genezis Kirganikskogo zoloto-mednogo mestorozhdeniya Kamchatki [Geology and genesis of the Kirganik gold-copper deposit in Kamchatka]. *Otechestvennaya geologiya*. 1997. No. 5. P. 13–17.
7. *Zvezdov V.S., Minina O.V.* Rudno-magmaticheskiye sistemy vulkanoplutonicheskikh poyasov Vostoka Rossii [Ore-magmatic systems of the volcanoplutonic belts of the East of Russia]. *Rudy i metally*. 2010. No. 1. P. 48–59.
8. *Zvezdov V.S., Migachev I.F., Minina O.V.* Prognozno-poiskovyeye modeli kompleksnykh rudno-magmaticheskikh sistem vulkanoplutonicheskikh poyasov Vostoka Rossii [Predictive search models of complex ore-magmatic systems of volcanoplutonic belts of the East of Russia]. *Otechestvennaya geologiya*. 2011. No. 3. P. 13–21.
9. *Zinkevich V.P., Kolodyazhnyy S.Yu., Bragina L.G. et al.* Tektonika vostochnogo obramleniya Sredinnokamchatskogo massiva metamorficheskikh porod [Tectonics of the eastern framing of the Sredinnokamchatka massif of metamorphic rocks]. *Geotektonika*. 1994. No. 1. P. 81–96.
10. *Karta poleznykh iskopayemykh Kamchatskoy oblasti masshtaba 1:500 000* [Mineral resources map of the Kamchatka region on a scale of 1: 500,000]. Gl. redaktory: A.F.Litvinov, M.G.Patoka, B.A.Markovskiy. Otv. redaktory-sostaviteli YU.F.Frolov, A.A.Kolyada, A.I.Pozd-eyev, L.Ye.Pavlova. Sankt Peterburg, VSEGEI publ. 1999.
11. *Karta poleznykh iskopayemykh Kamchatskoy oblasti masshtaba 1:500 000. Kratkaya ob'yasnitel'naya zapiska. Katalog mestorozhdeniy, proyavleniy, punktov mineralizatsii i oreolov rasseyaniya poleznykh iskopayemykh* [Mineral resources map of the Kamchatka region on a scale of 1: 500,000. Brief explanatory note. Catalog of deposits, occurrences, points of mineralization and dispersion halos of minerals]. Gl. redaktory: A.F.Litvinov, M.G.Patoka, B.A. Markovskiy. Sankt Peterburg, VSEGEI publ. 1999. 563 p.
12. *Krivtsov A.I., Zvezdov V.S., Minina O.V., Migachev I.F.* Medno-porfirovyeye mestorozhdeniya [Porphyry copper deposits]. *Seriya Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov*. Moscow, TSNIGRI publ. 2001. 232 p.
13. *Krivtsov A.I., Migachev I.F.* Metallogeniya andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov [Metallogeny of andesitic volcano-plutonic belts]. CH. I. Moscow, TSNIGRI publ. 1997. 327 p.
14. *Krivtsov A.I., Migachev I.F., Minina O.V.* Zonal'nost' i zolotonosnost' rud mednoporfirovykh mestorozhdeniy [Zoning and gold content of porphyry copper ores]. *Geologiya, metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy metallicheskikh poleznykh iskopayemykh*. Moscow, TSNIGRI publ. 47 p.
15. *Krivtsov A.I., Migachev I.F., Popov V.S.* Medno-porfirovyeye mestorozhdeniya mira [World porphyry copper deposits]. Moscow, Nedra publ. 1986. 236 p.
16. *Migachev I.F.* Paleotektonicheskaya pozitsiya mezozoyskikh vulkano-plutonicheskikh poyasov vostoka Rossii [Paleotectonic position of the Mesozoic volcano-plutonic belts of eastern Russia]. *Otech. Geol.* 2009. No. 4. P. 18–29.
17. *Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Mezo-kaynozoykiye vulkanoplutonicheskiye poyasa – novaya perspektivnaya medno-porfirovaya provintsiya Yugo-Zapadnoy Chukotki [Meso-Cenozoic volcanoplutonic belts - a new promising porphyry copper province of South-West Chukotka]. *Otechestvennaya geologiya*. 2014. No. 6. P. 12–23.
18. *Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Perspektivy territorii Rossiyskoy Federatsii na medno-porfirovyeye rudy [Prospects for the territory of the Russian Federation for porphyry copper ores]. *Rudy i metally*. 2015. No. 1. P. 74–92.
19. *Minina O.V.* Model' Kaul'dinskoy rudno-magmaticheskoy sistemy (Uzbekistan) kak osnova prognoza i poiskov epitermal'nykh mestorozhdeniy zolota [Model of Kaulda ore-magmatic system (Uzbekistan) as a basis for forecasting and prospecting for epithermal gold deposits]. *Rudy i metally*. 2006. No. 3. P. 83–90.
20. *Minina O.V., Zvezdov V.S., Migachev I.F. et al.* Krupnyye medno-porfirovyeye rudno-magmaticheskiye sistemy i ikh geotektonicheskaya pozitsiya [Large porphyry copper ore-magmatic systems and their geotectonic position]. Is. 6. Moscow, VIEMS, MGP «Geoinformmark» publ. 1991. 54 p.
21. *Nikolayev Yu.N.* Geokhimicheskiye modeli metallogenicheskikh zon, rudnykh rayonov i uzlov Kamchatsko-Kuril'skoy provintsii [Geochemical models of metallogenic zones, ore regions and nodes of the Kamchatka-Kuril province]. *Vestnik MGU, ser. 4. Geologiya*. 2003. No. 4. P. 25–39.
22. *Stefanov Yu.M., Shirokiy B.I.* Metallogeniya verkhnego strukturnogo etazha Kamchatki [Metallogeny of the upper structural level of Kamchatka]. Moscow, Nauka publ. 1980.
23. *Filatova N.I.* Periokanicheskiye vulkanogennyye poyasa [Periokan volcanic belt]. Moscow, Nauka publ. 1988. 264 p.
24. *Flerov G.B., Koloskov A.B.* Shchelochnoy bazal'tovyy vulkanizm Tsentral'noy Kamchatki [Alkaline basalt vol-

- canism in Central Kamchatka]. Moscow, Nauka publ. 1976. 134 p.
25. *Khvorostov V.P., Zaytsev V.P.* Rudonosnyye magmaticheskiye komplekсы Ichigin-Unneyvayamskogo rayona [Ore-bearing igneous complexes of the Ichigin-Unneivayam region]. *Tikhookeanskaya geologiya*. 1983. No. 2. P. 42–48.
 26. *Shapiro M.N.* Pozdnemelovaya Achayvayam-Valaginskaya duga (Kamchatka) i kinematika plit Severnoy Patsifiki [Late Cretaceous Achayvayam-Valaginskaya arc (Kamchatka) and plate kinematics of the North Pacific]. *Geotektonika*. 1995. No. 1. P. 58–70.
 27. *Shchepot'yev Yu.M.* Osobennosti mineralizatsii Oganchinskogo rudnogo polya (Kamchatka) [Features of mineralization of the Oganchinsky ore field (Kamchatka)]. *Trudy TSNIGRI*. Is. 96. CH. I. Moscow. 1971. P. 46–57.
 28. *Shchepot'yev YU.M., Vartanyan S.S., Oreshin V.Yu., Guzman B.V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya ostrovnykh dug Tikhogo okeana [Gold deposits of the Pacific island arcs]. – Moscow, TSNIGRI publ. 1989. 244 p.
 29. *Corbett G.J., Leach T.M.* Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. Special Publication of Society of Economic Geologists, INC. 1998. No. 6. 237 p.
 30. *Hedenquist J.W., Arribas A.J., Reynolds J.R.* Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology*. 1998. Vol. 93. P. 373–404.
 31. *Hollings P., Baker M.J., Orovan E., Rinne M.*, editors. A Special Issue Devoted to Porphyry and Epithermal Deposits of the Southwest Pacific. *Economic Geology*. 2018. Vol. 113. P. 1–6.
 32. *Muntean J.L., Einaudi M.T.* Porphyry gold deposits of the Refugio district, Maricunga belt, Northern Chile. *Economic Geology*. 2000. Vol. 95. P. 1445–1472.
 33. *Sillitoe R.H.* Porphyry-copper systems. *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. P. 3–41.
 34. *Sillitoe R.H., Perello J., Vidal C.E.*, editors. Andean metallogeny: new discovers, concepts, and updates. Special Publication of Society of Economic Geologists, INC. 2004. No. 11. 318 p.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-28-47,
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Типоморфные особенности золота как критерии связи россыпей с коренными источниками золото-серебряного типа (на примере рудно-россыпного узла Многовершинное)

С.В.ЯБЛОКОВА¹, Г.Г.САМОСОРОВ², Н.Н.ПОЗДНЯКОВА¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1,

²Институт криминалистики Центра специальной техники ФСБ России (г. Москва)

Для установления связи россыпей с коренными источниками проведено комплексное изучение самородного золота (гранулометрия, кристалломорфология, внутреннее строение, характер экзогенных преобразований, пробность, элементный микропримесный состав) из руд и россыпей золотоносного узла Многовершинное. Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и рентгеноспектрального анализа получены новые данные о геохимических особенностях золота, расширяющие и уточняющие представление о типоморфизме золота коренного источника золото-серебряного месторождения и его связи с россыпями.

Ключевые слова: самородное золото, рудное тело, россыпи, типоморфизм.

Яблокова Светлана Васильевна
кандидат геолого-минералогических наук

Самосоров Георгий Германович
кандидат геолого-минералогических наук



Позднякова Наталья Николаевна
кандидат геолого-минералогических наук

natali-silver@bk.ru

Typomorphic gold features as criteria of placer association with primary gold-silver-type sources (example from Mnogovershinnoye ore placer cluster)

S.V.YABLOKOVA¹, G.G.SAMOSOROV², N.N.POZDNYAKOVA¹

¹Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals,

²Institute of criminalistics Of the center for special equipment of the FSB of Russia

A comprehensive study of native gold from Mnogovershinnoye gold cluster ores and placers (granulometry, crystal morphology, internal structure, nature of exogenetic transformations, fineness and trace element composition) was performed to define placer association with primary sources. Using ICP-MS method and X-ray spectrographic analysis, new data on geochemical gold features was obtained, which expands and clarifies the evidence of gold typomorphism from a gold-silver deposit primary source and its association with placers.

Key words: native gold, orebody, placers, typomorphism.

Основными коренными источниками россыпной золотоносности служат золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения. Россыпеобразующий потенциал золото-серебряных месторождений незначителен, поэтому представляет интерес рассмотрение источников питания россыпей, расположенных в пределах рудного поля золото-серебряного месторождения Многовершинное.

Геолого-минералогическая характеристика месторождения. Месторождение Многовершинное (Нижне-Амурский рудный район, Хабаровский край) приурочено к Восточно-Сихотэ-Алиньской металлогенической зоне, соответствующей Приморскому позднемеловому–палеогеновому вулканоплутоническому поясу. Рудное поле месторождения расположено в пределах Ульской вулканоплутонической

структуры у северного окончания Восточно-Сихотэ-Алиньского пояса в области пресечений региональных разломов меридионального, северо-восточного и широтного направлений [2].

Структура рудного поля двухъярусная. Нижний ярус образован складчатыми осадочными породами нижнего мела (песчаники, аргиллиты, алевролиты). Верхний ярус представлен вулканитами палеоценового возраста преимущественно жерловой и субвулканической фаций (брекчиевые лавы андезитов, андезиты, андезитодациты, туфы). Оба структурных комплекса прорваны гринитоидами крупного Бекчи-Ульского массива, у северо-западного контакта которого расположено месторождение. На контакте с гранитоидами песчано-глинистые породы превращены в роговики пироксен-полевошпатового, кварц-кордиеритового и кварц-биотитового составов, а вулканиты – в кварц-биотитовые и альбит-эпидот-актинолитовые породы.

Рудное поле имеет сложное блоковое строение, обусловленное неоднократно подновляющимися разрывами северо-восточного и северо-западного простираний. Выделяются два блока – Западный и Восточный, различающиеся по строению, рудонасыщенности, степени эродированности.

Рудные тела представлены кварцевыми жилами, зонами брекчий и кварцевых прожилков, развитыми в пределах мощных жилообразных крутопадающих тел кварцевых и кварц-серицитовых метасоматитов. Выделено несколько десятков рудных тел, из которых наиболее продуктивные – Верхнее, Центральное, Оленье, Северное и др. Типичными и хорошо изученными являются рудные тела Верхнее и Центральное. Вмещающие породы – гидротермально-изменённые брекчиевые лавы и туфы андезитов, а на глубоких горизонтах – песчано-глинистые породы. Общая длина залежей, включая слабо-золотоносный кварц, составляет около 3 км. Вертикальный размах оруденения – около 500 м. Рудные тела прорваны многочисленными дайками.

Формирование рудных тел происходило в результате пространственного совмещения минерализации трёх этапов – раннего гидротермального, скарнового и позднего гидротермального с элементами редкометалльного оруденения [5].

На первом этапе образовались мощные жилородные тела, содержащие золотое оруденение. Минерализация второго и третьего этапов локализована преимущественно в пределах золоторудных тел первого этапа. Ранний гидротермальный этап представлен двумя стадиями – золото-кварцевой и золото-карбонат-кварцевой, в течение которых сформировались несколько минеральных ассоциаций, в том числе две продуктивные: первая основная продук-

тивная – золото-халькопирит-блэкклорудная первой стадии, вторая продуктивная – золото-кварц-сфалерит-теллуридная второй стадии.

Золото первой продуктивной минеральной ассоциации часто локализуется в кварце; в рудных минералах оно находится вместе с халькопиритом и блёклыми рудами, реже – с галенитом, сфалеритом, пиритом, замещает сульфиды и блёклые руды, иногда образует золото-халькопиритовые вросстки в сфалерите.

Размеры выделений самородного золота варьируют в пределах 0,02–0,1 мм; встречаются более крупные (2–3 мм) образования. Отмечаются также крупные ветвящиеся дендритовидные прожилки, сопровождающиеся каплевидной вкрапленностью. Наиболее распространены ксеноморфные выделения, иногда наблюдаются кристаллы.

Пробность золота в рудах Западной рудной зоны – 750–940%, в рудах Восточной зоны – 800–940%. Вариации пробности обусловлены различной степенью его перекристаллизации при гидротермальном и контактовом метаморфизме.

Во второй продуктивной минеральной ассоциации золото-сфалерит-теллуридной различаются два парагенезиса золота – существенно сульфидный и сульфосолевым. В состав сульфидного парагенезиса входят сфалерит, блёклая руда, галенит, халькопирит, борнит при количественном преобладании трёх первых минералов. Сульфосолевым парагенезис представлен аргентитом, пираргиритом, полибазитом, стефанитом, фрейбергитом, агвиларитом, гёсситом, алтаитом, петцитом, сивланитом, киноварью, низкопробным и весьма низкопробным (возможно кюстелитом) золотом [5].

Размеры выделений золота составляют 0,001–0,4 мм, реже – до 0,5–1 мм, форма их комковидная, угловатая, губчатая, жилковидно-пластинчатая с губчатой поверхностью, дендритовидная, друзовая, губчато-друзовидная. Встречаются кристаллы, реже дендриты, палочковидные и отдельные проволоковидные частицы.

В сульфидном парагенезисе пробность золота превышает 750%, в сульфосолевом она варьирует от 400 до 760% при средних значениях 600–720%.

Скарновые ассоциации второго этапа минералообразования не несут золота, но при проявлении в рудоносных зонах они золотоносны; при этом повышается содержание серебра и золота в сульфидах, а самородное золото ранних ассоциаций преобразуется. Характер и интенсивность преобразований различны в скарнах разного состава [6].

В пределах рудного поля и отдельных рудных тел наблюдаются элементы эндогенной зональности, проявляющиеся в изменении масштабов развития

минеральных ассоциаций, смене одних ассоциаций другими, изменении признаков золота. Вертикальная зональность хорошо прослеживается, например, на рудном теле Верхнее [4].

На нижних горизонтах этого рудного тела преобладает ранняя золото-халькопирит-блэклюдная ассоциация, а на верхних – поздняя золото-сфалерит-теллуридная. Наибольшее скопление серебро-содержащих минералов (аргентита, пираргирита, фрейбергита) наблюдается в верхней трети рудного тела Верхнее, на самых верхних уровнях преобладает фрейбергит [5].

По вертикали отмечается однонаправленное изменение состава и пробы золота. Электрум встречается на верхних уровнях, с глубиной проба золота возрастает до 750‰, а на самых глубоких горизонтах присутствует высокопробное золото (до 970‰).

Типоморфные особенности самородного золота.

В дополнение к известным ранее данным по минералогии месторождения Многовершинное были проведены исследования типоморфизма золота основных рудных зон месторождения – Восточной и Западной, представленных рудными телами (далее р.т.) Центральное, Верхнее, Олень, Северное и Фланговое и примыкающих к ним россыпей – руч. Заманчивый, р. Левый Ул, руч. Эватак, руч. Мариинский, р. Бекчи.

С этой целью из наиболее обогащённых участков рудных тел и россыпей были отобраны специальные пробы. Извлечённое из них золото подверглось комплексному исследованию, включающему анализ granulometрии, морфологии, состава сростков, характера поверхности, деталей внутреннего строения, признаков посткристаллизационного метаморфического преобразования и гипергенных изменений.

Пробность золота устанавливалась локальным рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) на микроанализаторе Camebax Sx 100 фирмы Cameca (ускоряющее напряжение 20 Кв, ток. зонд 40 па), средняя проба – пробирным анализом из 100 мг навески, экспрессное определение пробы производилось методом пробирного камня с использованием порошковых эталонов. Набор элементов-примесей определялся методом масс-спектрометрического анализа (ICP-MS) на приборе ЭЛАН-6100 фирмы «Перкин-Эльмер» в количественном и приближённо-количественном вариантах и с помощью РСМА. Последним также анализировался состав микровключений.

Внутреннее строение исследовалось посредством многократного структурного травления монтированных золотин раствором $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$.

Золото из рудных тел. Известно, что размер золота месторождения Многовершинное весьма мел-

кий (0,001–0,04 мм, редко 0,5–1 мм), встречаются частицы до 2–3 мм [2]. Принятый средний размер золота составляет 0,34 мм.

Выделенное при проведённом опробовании золото оказалось более крупным. Так, в рудном теле Верхнее золото классов +1 и –1+0,5 мм составляет по 30% каждый, в р.т. Олень – +0,5 мм – 60%, р.т. Северное – +0,5 мм – 85%. Более мелкое золото (–0,5+0,25 мм – 75%) присутствует в рудных телах Центральное и Фланговое. Очевидно, размер золота в данном случае отражает его крупность в более обогащённых участках рудных тел.

Морфология золота рудных тел Центральное, Олень и Северное характеризуется широким распространением ксеноморфных трещинно-прожилковидных, комковидных, цементационных, каркасных форм (рис. 1, А). В рудном теле Верхнее с наиболее крупным золотом наблюдается значительное количество правильных выделений: дендритов, кристаллических сростков, единичных кристаллов (см. рис. 1, Б).

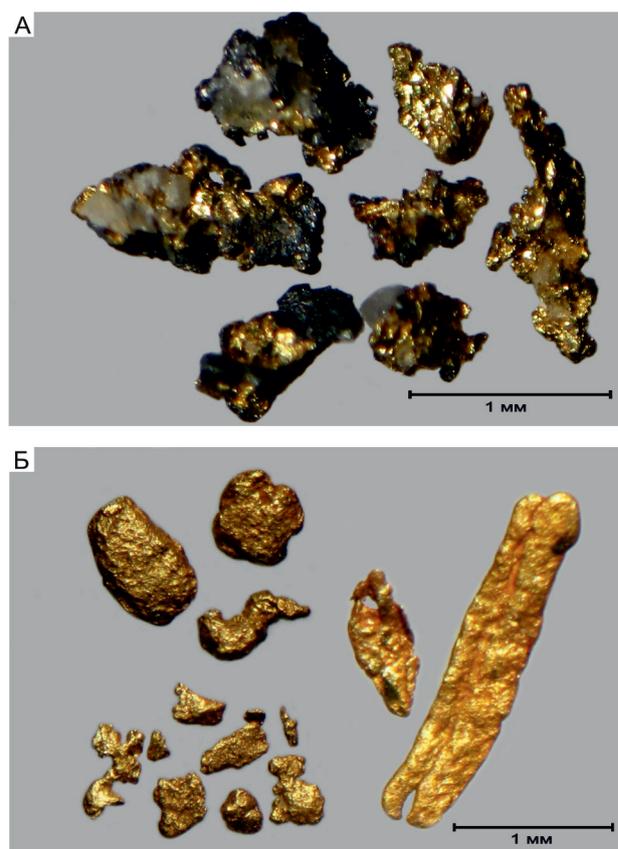


Рис. 1. Цементационные и пластинчато-каркасные золотины в сростании с кварцем р.т. Олень (А); кристаллы, сложные сростки, щепковидные дендритоиды р.т. Верхнее (Б)

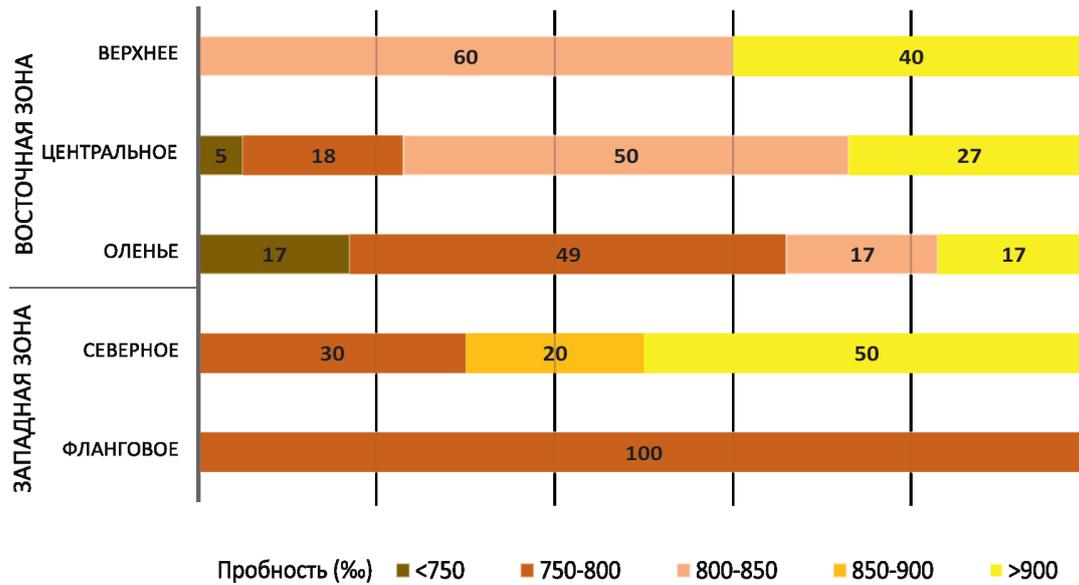


Рис. 2. Пробность золота из рудных тел месторождения Многовершинное, по данным РСМА (50 анализов)

Золото рудного тела Фланговое отличается сочетанием жилковидно-пластинчатых, губчатых форм и кристаллов, образующих сростания с теллуридами серебра.

Пробность золота, по данным РСМА, отличается значительной изменчивостью. В рудном теле Верхнее преобладает золото средней пробности при её колебаниях от 802 до 932‰ (рис. 2)¹. В рудном теле Центральное наблюдается сходное соотношение золота высокой и средней пробности, появляется низкопробное. В рудном теле Оленье количество низкопробного золота значительно возрастает, а в рудном теле Фланговое оно составляет 100% (см. рис. 2).

Для высокопробного и золота средней пробности, широко распространённого во всех рудных телах, кроме Флангового, характерны включения сульфидов – пирита, халькопирита, арсенопирита, а также блёклых руд, галенита. Сочетание особенностей морфологии, пробности и состава ассоциирующих с этим золотом минералов позволяет относить его к первой золото-халькопирит-блёклорудной продуктивной ассоциации (первой стадии) раннего гидротермального этапа формирования месторождения (Au-I). Низкопробное (750–800‰) и более серебристое (<750‰) золото, присутствующее в рудных телах Центральное, Оленье и Северное и преоблада-

ющее на р.т. Фланговое, встречается в сростании с сульфидами (халькопирит, пирит, галенит, сфалерит и др.), теллуридами серебра (гёссит, петцит), фрейбергитом и стефанитом. Оно относится ко второй золото-сфалерит-теллуридной ассоциации второй стадии раннего гидротермального этапа формирования месторождения (Au-II). Следует отметить, что золото двух стадий различается также по размерам – более крупным (до 1–2 мм) для Au-I, до 0,25 мм для Au-II. Наиболее контрастно различия золота разных стадий проявляются в его *внутреннем строении*.

Высокопробное золото первой продуктивной ассоциации (Au-I) отличается крупнозернистым, часто двойниковым строением, с признаками эпикристаллизационного преобразования (воздействие интраминерализационной тектоники) в виде деформаций (линии скольжения), разрушающих первичную зернистость, с последующей в той или иной степени выраженной рекристаллизацией и грануляцией.

Золото подобного строения широко распространено в рудных телах Восточной зоны – в Верхнем, Оленьем, Центральном (рис. 3).

К первой продуктивной ассоциации относится также золото средней (800–900‰) пробности зернистого строения, аналогичного высокопробному золоту (рис. 4, А). Вместе с тем в этом золоте в большей степени проявлено воздействие термального метаморфизма – дезинтеграция зернистых агрегатов с диффузией серебра к границам зёрен (см. рис. 4, Б),

¹ Результаты определения пробности на пробирном камне соответствуют данным РСМА; следует лишь отметить присутствие единичных низкопробных золотин в р.т. Верхнее

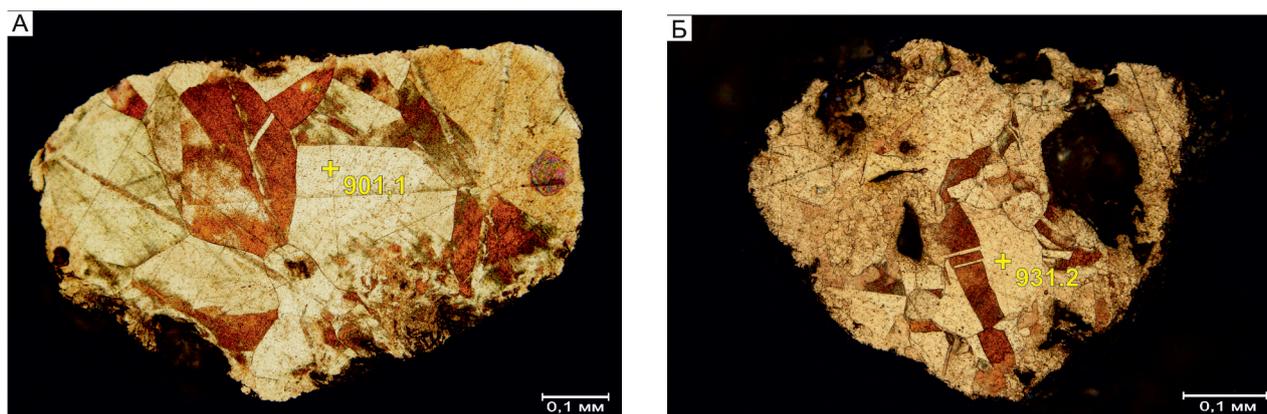


Рис. 3. Крупнозернистая двойниковая структура высокопробного Au-I:

А – рекристаллизованного (р.т. Верхнее); Б – деформированного, рекристаллизованного и частично гранулированного (р.т. Центральное); монтированный полированный шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

проявление мозаичной неоднородности, связанной с распадом твёрдого золото-серебряного раствора, замещение золота средней пробы весьма высокопробным (см. рис. 4, А) – признаки глубокого эпикристаллизационного преобразования.

Золото второй продуктивной ассоциации (Au-II) представлено несколькими разновидностями, соответствующими сульфидному и сульфосолевому парагенезисам. Низкопробные (>750‰) золотины отличаются монозернистым пятнисто-неоднородным строением (рис. 5). Более низкопробное (<750‰) золото в сростании с сульфосолями имеет монозернистое неяснозональное строение. В рудном теле

Фланговое на таких золотилах отмечаются наросты более позднего весьма высокопробного золота (рис. 6).

Низкопробное золото (Au-II) в других рудных телах присутствует в основном в виде реликтов, сохраняющихся в глубоко изменённых золотилах. Последовательность преобразования низкопробного золота (р.т. Северное) отражена на рис. 7. Начальная стадия проявлена в виде тонкой относительно высокопробной диффузионной зоны, повторяющей контуры золотины (см. рис. 7, А). Более интенсивное проявление диффузии приводит к значительному выносу серебра с сохранением мелких реликтов

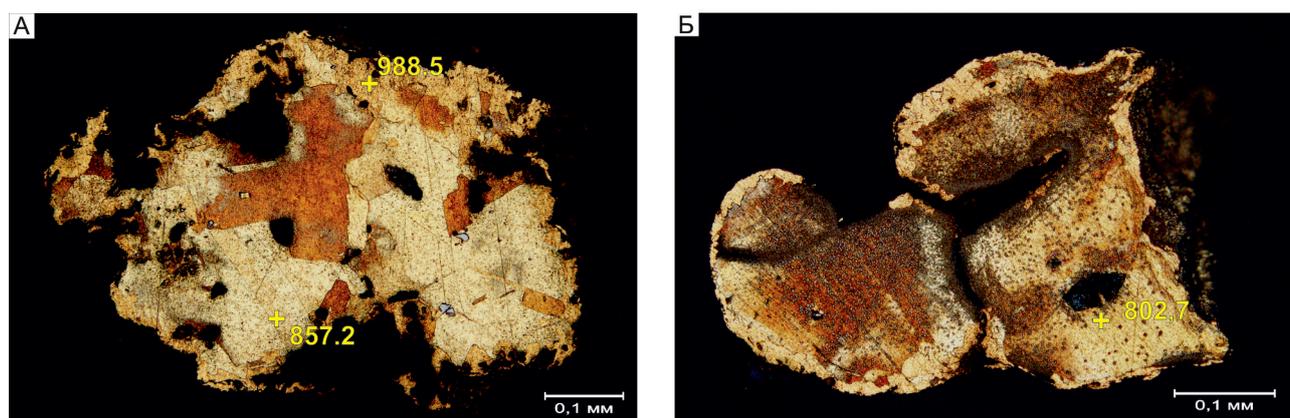


Рис. 4. Разнозернистая структура Au-I средней пробы:

А – с признаками замещения (р.т. Центральное); Б – с признаками дезинтеграции и диффузии серебра к границам зёрен, по периферии фрагментарная высокопробная кайма (р.т. Верхнее); монитр. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

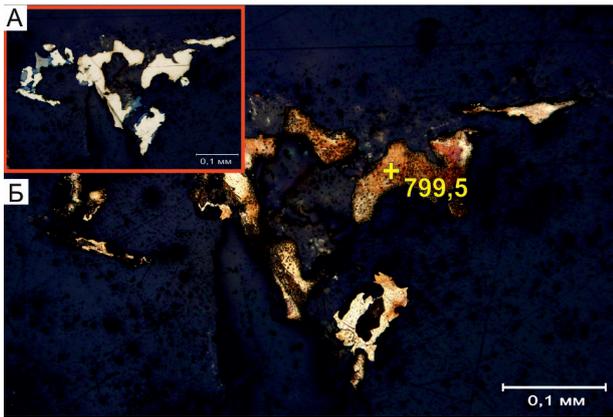


Рис. 5. Низкопробное (>750‰) Au-II пятнисто-неоднородного строения, в сростании с теллуридами:

А – без травления; Б – после травления; монтир. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

низкопробного Au-II (см. рис. 7, Б). Подобные преобразования наблюдаются в золоте рудных тел Оленье и Центральное (рис. 8).

В структуре относительно высокопробного золота, образующегося в результате диффузионного преобразования низкопробного золота, в отличие от Au-I, отчетливо проявлена мозаичная неоднородность.

Геохимические особенности золота месторождения Многовершинное, по данным количественного ICP-MS анализа (масс.%), представлены комплексом примесей, типичных как для золото-сульфидно-кварцевых ($\text{Cu} - 0,06-0,04$, $\text{Pb} - 0,001-0,07$, $\text{Zn} - 0,007-0,02$, $\text{Bi} - 0,0001-0,07$), так и для золото-серебряных месторождений ($\text{As} - 0,0001-0,11$, $\text{Te} - 0,001-0,99$, $\text{Hg} - 0,005-0,07$, $\text{Mn} - 0,0001-0,008$, $\text{Sb} - 0,0001-0,02$, $\text{Pt} - 0,0001$) (табл. 1).

По полуколичественному ICP-MS анализу, в золоте присутствуют редкие элементы (Sc , Y , Zr , Nb), а также REE (La , Rh , Nd). Количественное определение содержания основных элементов-примесей (Cu , Te , Bi , Hg , Pt) в отдельных золотилах методом РСМА (50 анализов) позволило установить состав золота различных ассоциаций. Для золота первой ассоциации (Au-I) характерны повышенные концентрации Cu ($0,06-0,07$) и Bi ($0,18-0,35$), для золота второй ассоциации (Au-II) – Te ($0,18-0,35$), Bi ($0,15-0,30$), Hg ($0,18-0,30$) и, соответственно, Ag (табл. 2).

Таким образом, новые данные по золоту из отобранных проб показали присутствие в рудах более крупного золота, чем было известно на месторождении Многовершинное ранее. Установлена однотипность типоморфных особенностей золота Au-I и Au-II на каждом из опробованных рудных тел. Детальный анализ внутреннего строения золота позволил

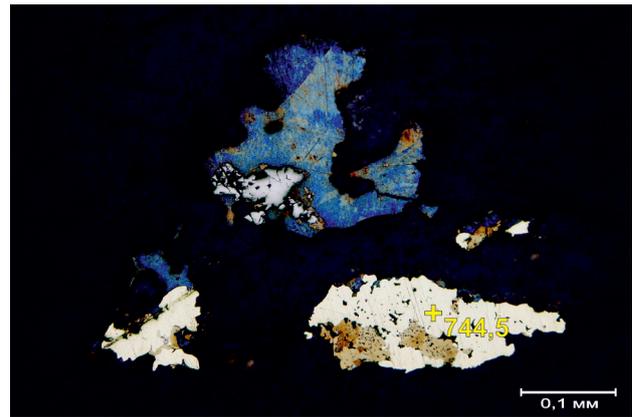


Рис. 6. Весьма низкопробное (<750‰) Au-II в сростании с сульфосолями и наростами высокопробного золота; монтир. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

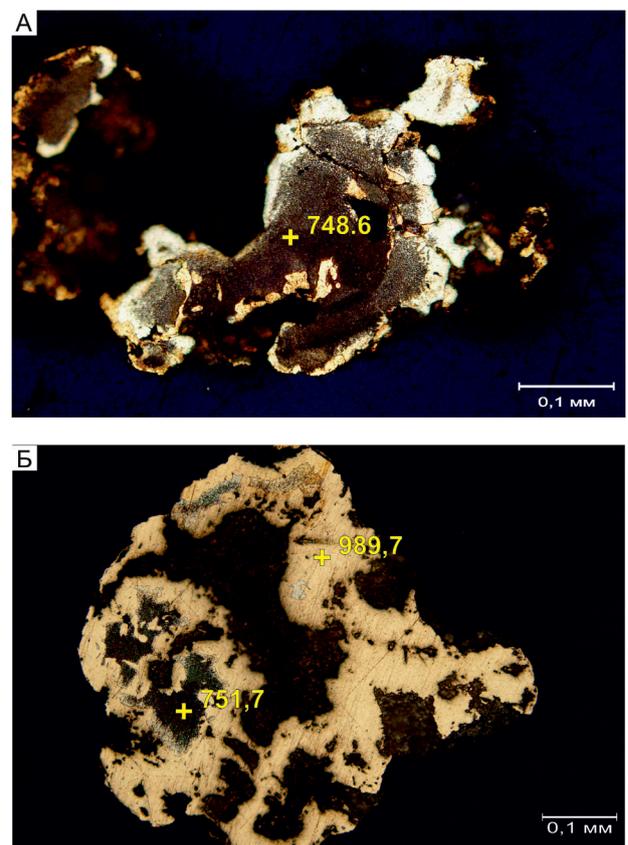


Рис. 7. Последовательность преобразования низкопробного золота под влиянием метаморфизма (р.т. Северное):

А – диффузионная высокопробная зона по периферии низкопробного золота; Б – диффузионное замещение низкопробного золота высокопробным неоднородно-мозаичного строения; монтир. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

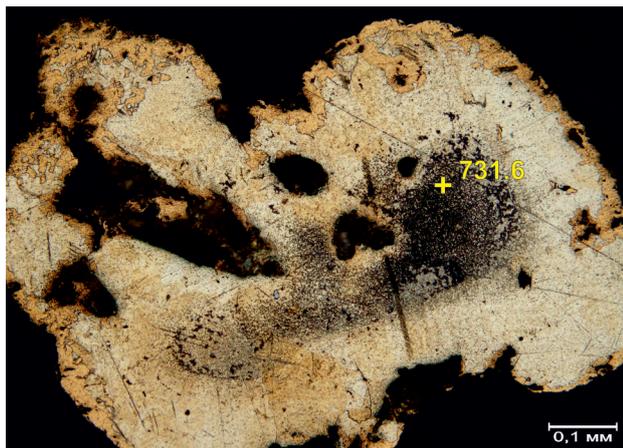


Рис. 8. Диффузионное преобразование низкопробного Au-II под влиянием термального воздействия (р.т. Центральное); монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

установить признаки глубоких эпикристаллизационных изменений, связанных с динамическим и термальным метаморфизмом, способствующим перекристаллизации золота, его укрупнению, широкому развитию диффузионных процессов, повышению пробыности.

Золото из россыпей. В пределах Многовершинного рудного поля известны небольшие по масштабам россыпи с мелким золотом в долинах рек, ручьях, верховья которых начинаются непосредственно от промышленных рудных тел, расположенных на крутых склонах. Исследовалось золото руч. Заманчивый, р. Левый Ул, руч. Эватак, примыкающих к рудным телам, а также из более удалённых от месторождения россыпей – руч. Мариинский и р. Бекчи.

В пробе из *россыпи руч. Заманчивый*, распределение золота по крупности одномодальное с преобладанием класса +1 мм (76,5%). Значительное количество золота (по массе) достигает 7–5 мм.

1. Результаты количественного масс-спектрометрического анализа золота (масс.%) из рудных тел месторождения Многовершинное

Элемент	Рудные тела									
	Центральное			Верхнее		Олень		Фланговое		Северное
Cu	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Pb	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,01	0,01
Rh	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pd	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pt	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bi	<0,0001	0,00	0,01	<0,0001	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,01	<0,0001
Co	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01
As	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,11	0,07	0,00	<0,0001	<0,0001
Sb	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	<0,0001
Te	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,98	0,02	0,06	<0,0001	0,99
Hg	0,06	0,04	0,05	0,01	0,05	0,01	0,04	0,03	0,03	0,01
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Ag	1,87	18,39	16,52	0,96	15,35	14,37	15,86	2,34	7,93	2,02
Au	97,99	81,50	83,32	99,00	84,50	84,38	83,88	97,55	91,99	96,94

2. Состав элементов-примесей в золоте месторождения Многовершинное, по данным РСМА (масс.%)

Название участка	Пробность, ‰	Продуктивная ассоциация	Cu	Te	Bi	Hg	Pt
Рудное золото (50 анализов)							
р.т. Верхнее	900–932	Au-I	0,01	0,08	0,35	0,30	0,01
	800–855	Au-I	0,02	0,07	0,22	0,09	0,04
р.т. Центральное	<750	Au-II	–	0,15	0,15	0,27	–
	>750	Au-II	0,01	0,06	0,27	0,18	–
	925–988	Au-I	0,06	0,09	0,18	0,26	–
	800–855	Au-I	–	–	–	–	–
р.т. Оленье	842–986	Au-I	0,06	0,08	0,21	0,1	–
	727–798	Au-II	0,02	0,35	0,28	0,18	0,05
р.т. Северное	840–990	Au-I	0,07	0,06	0,35	0,19	–
	748–797	Au-II	–	0,18	–	0,30	0,05
р.т. Фланговое	744–810	Au-II	0,05	0,09	0,30	0,30	0,01
Среднее значение		Au-I	0,04	0,09	0,26	0,18	0,01
		Au-II	0,01	0,17	0,25	0,24	0,02
Россыпное золото							
руч. Заманчивый	834–982	Au-I	0,02	0,07		0,22	0,02
	924–994	Au-I	0,03-0,07	0,05		0,35	0,03
р. Левый Ул	700–800	Au-II	0,04	0,11	0,28	0,20	–
	991	Au-I	–	0,09	0,04	0,23	0,05
руч. Эватак	830–895	Au-I	0,04	0,09	0,33	0,24	0,03
	988	Au-I	0,01	0,06	0,25	0,1	0,01
руч. Мариинский	837–932	Au-I	0,02	0,07	–	0,3	0,06
	776	Au-II	0,01	0,12	–	0,4	0,01
р. Бекчи	871–875	Au-I	0,05	0,07	–	–	–
	765–811	Au-II	0,01	0,05	–	0,2	–

Преобладают правильные формы – дендриты, в основном одностволовые (рис. 9), сростки кристаллов, образующие губчатые каркасы, в подчинённом количестве присутствуют гемиидиоморфные выделения. В сростании с золотом отмечаются окисленные рудные минералы и включения гидроксидов железа.

Золото россыпи в основном полу- и слабоокатанное при незначительном количестве среднеокатанных частиц.

Пробность отдельных окатанных и слабоокатанных золотин в классах +1 мм и –1+0,5 мм составляет 920–980‰. Более мелкое золото имеет пробность 680–690‰, 850–870‰, 920–980‰. По данным РСМА, пробность варьирует от 703 до 994‰ при средней по пробирному анализу 961‰ (рис. 10).

Высокопробное (до 986‰) золото отличается крупнозернистым строением с признаками незначительных деформаций. По структуре и элементам-

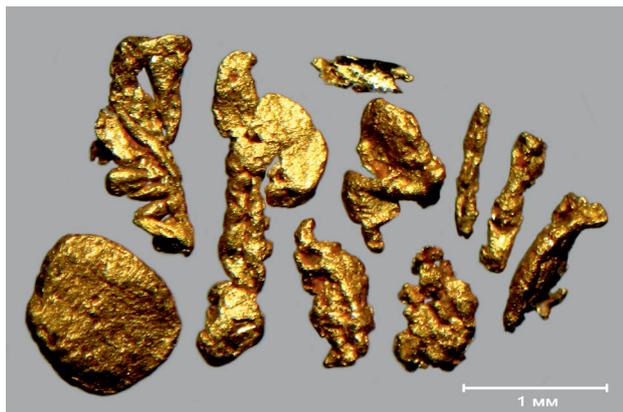


Рис. 9. Пластинчатые, слабоокатанные одностволовые дендриты, дендритоиды и пластинчатый кристалл. Россыпь руч. Заманчивый

примесям это золото сходно с Au-I из рудных тел месторождения (рис. 11).

В золоте средней пробыности, как и в золоте из рудных тел наблюдается дезинтеграция и диффузия Ag к границам зёрен (рис. 12). Отмечаются следы незначительных коррозионных преобразований. Серебристое (<750‰) золото представлено пятнисто-неоднородным выделением в сростании с гёсситом и весьма высокопробным золотом монозернистого

мозаично-блокового строения. На золоте отмечаются плёнки электрума и включения, предположительно, золото-оловянного минерала (?), определённого на основании картины травления и методом ICP-MS присутствия в золоте высоких концентраций примеси Sn (рис. 13).

В россыпи р. Левый Ул заметно преобладает золото класса +1 мм (94,1%). Максимальный размер золотинок составляет 10×8,5×1 мм. Встречается значительное количество трещинно-прожилковых выделений при подчинённой роли цементационных и губчатых форм; до 10% золотинок представлены дендритоидами, отдельные зёрна имеют проволоковидную форму (рис. 14). В сростании с золотом наблюдается плотный сахаровидный кварц с плёнками гидроксидов железа.

Среди выделений мелких классов существенно возрастает степень окатанности и коррозии. В целом в пробе преобладает полу- и среднеокатанное золото с умеренной коррозией поверхности. Неокатанное и слабоокатанное золото составляет порядка 25%.

Пробность золота варьирует от 750 до 990‰. Пробность 850–900‰ установлена у более крупных золотинок (+1 и –1+0,5 мм), золото классов –0,5, –0,25 и –0,1 мм отличается пробностью 750–820‰. Средняя пробность, по данным пробирного анализа, ниже, чем в других россыпях, и составляет 840‰ (см. рис. 10).

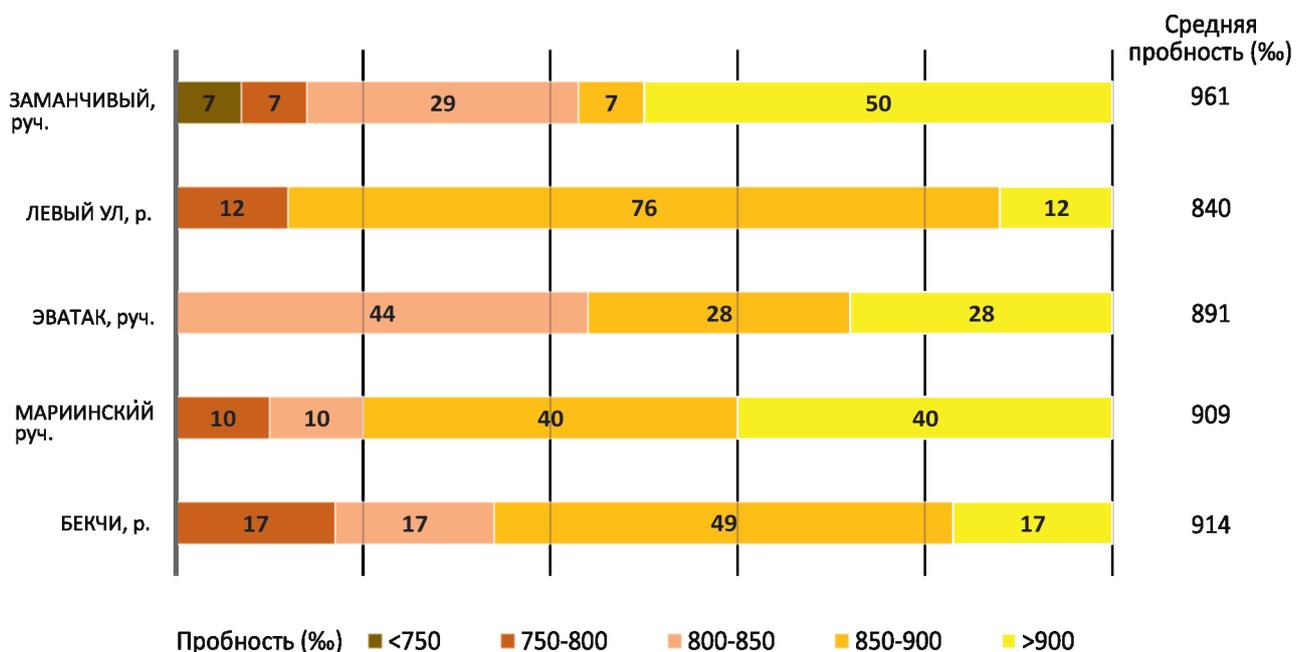


Рис. 10. Пробность золота из россыпей рудно-россыпного узла Многовершинное, по данным РСМА и пробирного анализа

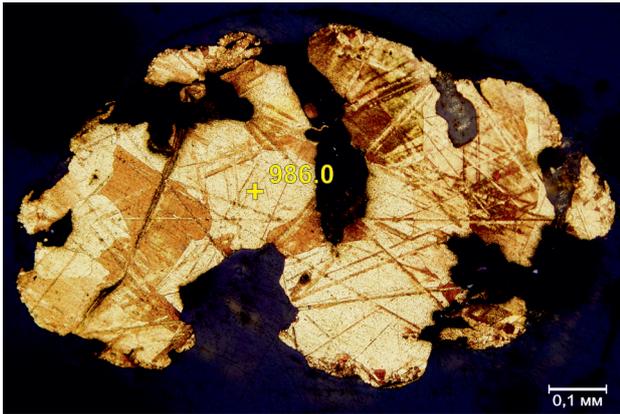


Рис. 11. Крупнозернистая структура высокопробного (986‰) золота. Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$



Рис. 12. Диффузионное преобразование золота средней пробы. По периферии высокопробная коррозионная кайма. Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Низкопробное золото данной россыпи имеет неяснозернистое внутреннее строение с неравномерной относительно более высокопробной диффузионной зоной по периферии (рис. 15). Золото средней пробы разнозернистого строения образует сростания с поздним высокопробным (993‰) золотом (рис. 16). Присутствующие в россыпи частицы губчатого сложения представлены агрегатами золота разного состава мелкозернистого строения.

В пробе из *россыпи руч. Эватак* (драга 7) преобладают частицы класса +1 мм (57%) с одинаковыми содержаниями классов -1+0,5 и -0,5+0,1 мм. Более мелкое золото присутствует в ничтожном количестве. В классе +1 мм размер золотин варьирует от 2 до 10 мм; основная масса представлена частицами от 2 до 5 мм.

В целом в пробе преобладают трещинно-прожилковые выделения при подчинённом количестве цементационных и ячеистых форм, с включениями мелкозернистого кварца. Реже на пластинчатых частицах наблюдаются наросты гидроксидов железа. В классе +0,5 мм встречены отдельные каркасные сростки кристаллов. У мелкого золота морфология более разнообразная, распространены дендриты, дендритоиды, сростки кристаллов и ячеистые образования (рис. 17). Поверхность золота ямчато-бугорчатая или ячеистая.

Золото преимущественно среднеокатанное с признаками коррозии; полуокатанные и в меньшей степени слабоокатанные и неокатанные частицы составляют в сумме порядка 20%.

Пробность золотин варьирует от 750 до 940‰, с преобладанием 830–890‰. По данным РСМА, она изменя-

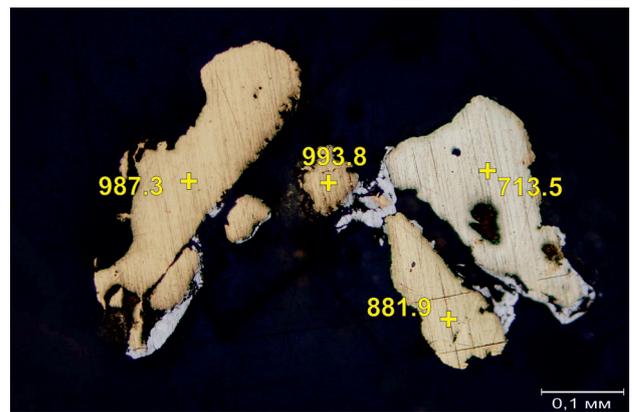


Рис. 13. Золото разного состава с плёнками электрума и включением золото-оловянного минерала (?). Россыпь руч. Заманчивый; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

ется от 830 до 995‰. Средняя пробность по пробирному анализу составляет 891‰ (см. рис. 10).

Внутреннее строение высокопробного золота, также как в рудах и других россыпях, отличается крупной зернистостью. Присутствует тонкая высокопробная оболочка. В интенсивно деформированном золоте средней (895‰) пробы диффузионное перераспределение серебра сходно с наблюдаемым в золоте рудного тела Верхнее (см. рис. 3, Б). Отчётливо выражена коррозионная кайма тонкозернистого строения (рис. 18).



Рис. 14. Дендритоиды, трещинно-прожилковидные, губчатые и комковидные золотины. Россыпь р. Левый Ул

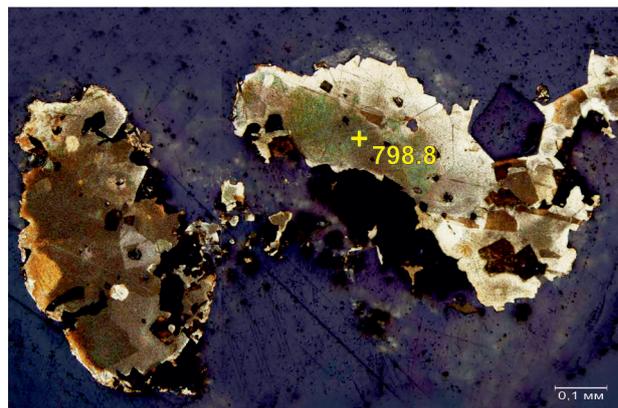


Рис. 15. Низкопробное золото неяснозернистого строения с фрагментарной более высокопробной диффузионной зоной. Россыпь р. Левый Ул; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Более низкопробное пористое золото с включениями петцита имеет неяснозернистое строение с признаками частичной перекристаллизации по периферии (рис. 19).

В россыпи *руч. Мариинский* (драга 621) преобладает золото класса +1 мм (более 67%). Наиболее крупные частицы полуокатаны и представлены каркасными сростками кристаллов, близкими по форме к многостволовым дендритоидам. Эти золотины находятся в сростании с мелкозернистым кварцем. Среднеокатанное золото также встречается в сростании с кварцем. Формы смешанные (с элементами сростков кристаллов) и дендритовидные (рис. 20). Наряду с искажёнными кристаллами в классе $-0,5+0,25$ мм присутствуют хорошо огранённые ромбодоэкаэдры, изометричные округлённые и лентовидные кристаллы.

Преобладает полу- и среднеокатанное золото при незначительной роли хорошо окатанных частиц. Слабоокатанные золотины встречены только в мелких классах. Окатанные золотины заметно корродированы.

Пробность золота колеблется от 750 до 994‰. В центральных частях зёрен полу- и среднеокатанных с умеренной и слабой коррозией преобладает пробность 850–900‰. Реже пробность неокатанного, но преобразованного коррозией золота в центральной части выделений составляет 930–940‰. В мелких классах ($-0,25$ мм) встречается низкопробное (750‰) золото. Средняя пробность, по данным пробирного анализа, составляет 909‰ (см. рис. 10).

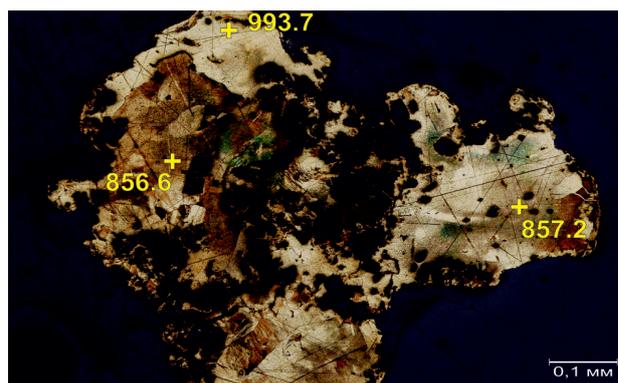


Рис. 16. Золото разномозернистого строения с признаками диффузионных изменений в сростании с более поздним весьма высокопробным золотом. Россыпь р. Левый Ул; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Структура золота этой россыпи сходна с таковой других россыпей, расположенных вблизи месторождения. Для высоко- и среднепробного золота характерно крупно-, разномозернистое внутреннее строение, деформации, разрушающие первичную зернистость, признаки диффузионного выноса серебра. Низкопробное золото отличается мозаично-неоднородным строением. При перекристаллизации по периферии золотинов образуются пористые участки и наросты позднего весьма высокопробного золота (рис. 21). На окатанных золотины разного состава присутствуют тонкие высокопробные каймы.

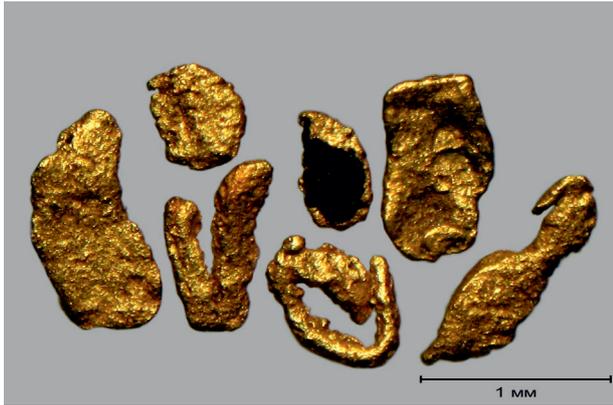


Рис. 17. Среднеокатанные золотины – дендритоиды, сростки кристаллов и трещинно-прожилковые с плёнками гидроксидов железа. Россыпь р. Эватак, драга 7

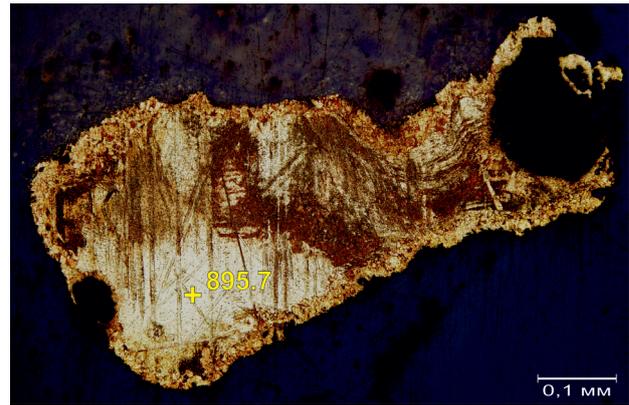


Рис. 18. Монозернистое деформированное (линии трансляций) золото со следами диффузионного выноса серебра. Коррозионная кайма полигонально-зернистого строения. Россыпь р. Эватак, драга 7; монтир. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

В пробе из россыпи р. Бекчи золото класса +1 мм составляет 73%. Правильные формы – сростки кристаллов, дендритоиды – >50%, трещинно-прожилковые – >40% (рис. 22). В небольшом количестве присутствуют смешанные формы, объёмные или пластинчатые с кристаллическими выступами на торцах пластин. В каркасных сростках кристаллов или многостволовых дендритоидов в срастании с золотом наблюдается мелкозернистый кварц.

Степень окатанности золота изменяется в широких пределах – слабо- и полуокатанное золото распространено практически одинаково (18 и 21%), несколько больше среднеокатанных золотинок (25%) и наибольшее количество хорошо окатанных.

Пробность золота варьирует от 725 до 967‰ при преобладании 850–900‰. Низкопробное золото появляется в мелких классах. Средняя пробность по пробирному анализу составляет 914‰ (см. рис. 10).

Преобладающие в россыпи сложные каркасные сростки кристаллов с кварцем имеют разнозернистое двойниковое внутреннее строение с признаками его последующего преобразования, сопровождающегося деформациями и перекристаллизацией. По периферии золотинок развита коррозионная высокопробная оболочка.

В золоте пробности 875‰ отмечается повышенное количество минеральных включений – пирит и арсенопирит. В низкопробном (765–811‰) золоте присутствуют галенит, петцит, гёссит. Пробность и состав включений позволяют относить это золото ко второй продуктивной золото-сфалерит-теллуридной ассоциации.

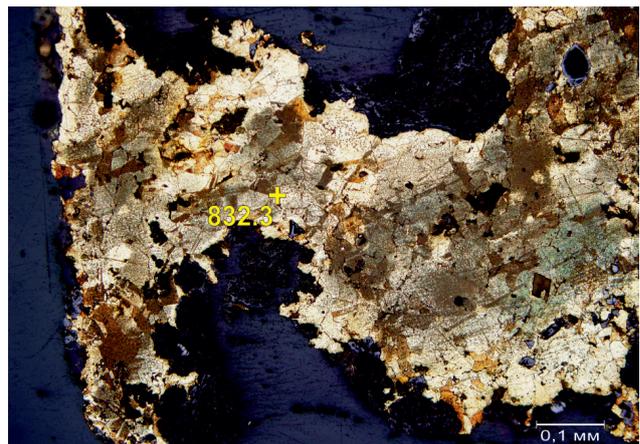


Рис. 19. Золото неяснозернистого строения, частично перекристаллизованное, с включениями теллуридов серебра. Россыпь р. Эватак, драга 7; монтир. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Элементный микропримесный состав самородного золота из россыпей, определённый количественным ICP-MS анализом, соответствует составу рудного золота (табл. 3). В россыпном золоте присутствуют все выявленные в рудном золоте элементы. Некоторые различия наблюдаются в их содержаниях. Так, для россыпного золота характерны более высокие концентрации Bi, Sn, Hg и заметно меньшие – Te и рассеянных элементов. Определение состава элементов-примесей Cu, Bi, Te, Hg в отдельных золотишках методом РСМА показало сопостави-

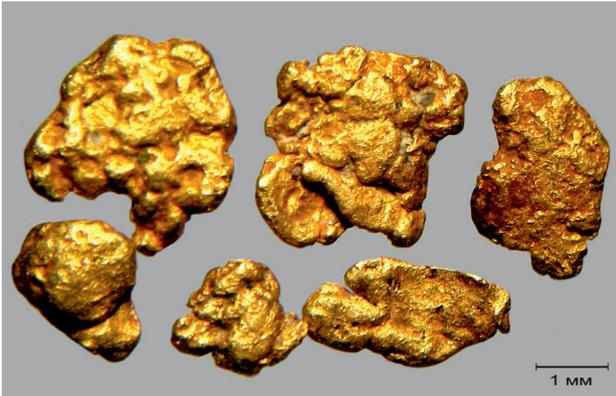


Рис. 20. Геммидиоморфные и дендритовидные золотины в сростании с кварцем. Россыпь руч. Мариинский, драга 621

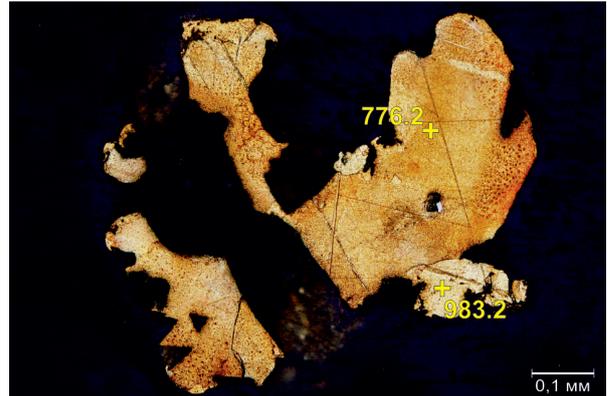


Рис. 21. Монозернистое, мозаично-неоднородное золото с пористыми структурами перекристаллизации по периферии, с наростами позднего весьма высокопробного золота. Россыпь руч. Мариинский, драга 621; монтаж. полир. шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

мость рудного и россыпного золота по этим элементам (см. табл. 2).

Обсуждение результатов. Сопоставление признаков золота (морфологии, пробности, элементов-примесей, внутреннего строения) из рудных тел месторождения Многовершинное и россыпей демонстрирует их значительное сходство. Различия касаются большей крупности золота в россыпях. При рассмотрении этого вопроса следует учитывать полученные новые данные, свидетельствующие о присутствии на современном уровне эрозионного среза обогащённых участков рудных тел с более крупным золотом, относящимся в основном к первой продуктивной стадии. Эти сведения в совокупности с выявленной глубокой эндогенной перекристаллизацией золота под влиянием термального метаморфизма позволяют предположить возможность существования более крупного золота в подвергшихся денудации верхних горизонтах с богатыми рудами, за счёт которых в основном образовались россыпи.

Распределение золота по протяжению россыпи и последовательные изменения его признаков подтверждают выдвинутое предположение. В головных частях россыпей руч. Заманчивый, р. Левый Ул и руч. Эватак в результате сортировки золота по крупности концентрируется объёмное массивное золото фракции +1 мм. Оно слабо- и полуокатано и незначительно корродировано.

В несколько более удалённой россыпи р. Эватак степень окатанности золота возрастает, появляется коррозонная оболочка мощностью до 0,008 мм.

В ещё более удалённых россыпях руч. Мариинский и р. Бекчи уменьшение крупности золота соче-

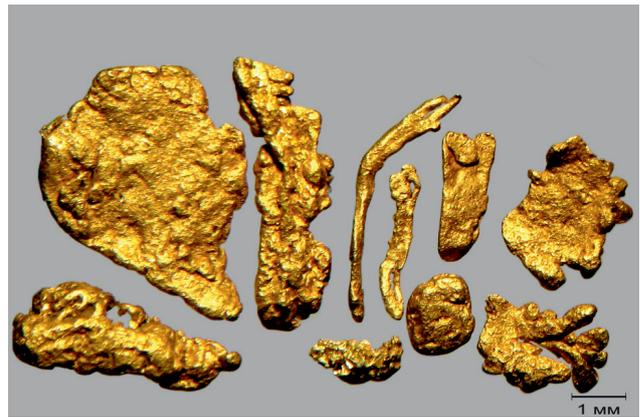


Рис. 22. Дендриты, дендритоиды, сростки кристаллов, трещинные выделения. Россыпь р. Бекчи

тается с присутствием в этих россыпях и более мелкого хорошо окатанного пластинчатого и пористого губчатого золота, сохраняющего включения минералов сульфосолевой ассоциации второй стадии гидротермального этапа.

Высокая средняя пробность золота в этих россыпях обусловлена более значительным развитием гипергенных преобразований.

Сравнение геохимических особенностей рудного и россыпного золота также свидетельствуют об их сходстве. Выявленные более низкие содержания Te и рассеянных элементов в россыпях объясняются неустойчивостью этих элементов в зоне гипергенеза [1, 8].

3. Результаты количественного масс-спектрометрического анализа золота (масс.%) из россыпей рудно-россыпного узла Многовершинное

Элемент	руч. Заманчивый		р. Левый Ул			руч. Эватак		руч. Маринский		р. Бекчи	
Cu	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rh	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pd	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,00
Pt	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Bi	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ni	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	<0,0001	0,00	0,00
Fe	0,00	0,01	0,09	0,04	0,11	0,03	0,02	0,07	0,01	0,02	0,01
As	0,07	<0,0001	0,10	0,01	0,00	0,02	0,01	0,12	0,00	0,02	0,02
Sb	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,0001	0,00	<0,0001	0,00	0,00	0,00	0,00
Te	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	0,01	<0,0001	0,00	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Hg	<0,0001	0,01	0,06	0,11	0,04	0,23	0,05	0,03	0,04	0,01	0,09
Sn	0,01	0,04	0,01	<0,0001	0,01	0,01	0,03	0,02	<0,0001	0,01	0,00
Ag	2,13	10,21	14,18	13,58	13,66	2,56	12,54	16,37	8,21	1,91	8,29
Au	97,76	89,69	85,53	86,24	86,12	97,07	87,34	83,35	91,70	98,01	91,56

Различия содержаний в рудном и россыпном золоте таких элементов как Bi и Sn (по данным ICP-MS анализа) связаны с неравномерным распределением в золотилах минеральных включений висмутит и золото-оловянного минерала (?). По РСМА, содержания Bi в золоте из руд и россыпей сопоставимы. Более высокие содержания Hg в россыпях связаны с техногенным заражением золотин.

Выводы:

1. На основании комплексных исследований типоморфных признаков золота установлена пространственная и генетическая связь золото-серебряного месторождения Многовершинное с россыпями, расположенными в его рудном поле.

2. Формирование головных частей россыпей происходило преимущественно за счёт более крупного высокопробного золота сульфидной продуктивной ассоциации первой стадии гидротермального этапа.

Более мелкое низкопробное золото сульфосолевой продуктивной ассоциации второй стадии накапливалось в хвостовых частях близкорасположенных и в более удалённых от месторождения россыпях.

3. Повышенный россыпеобразующий потенциал золото-серебряного месторождения Многовершинное связан со значительным проявлением полисульфидно-кварцевой минерализации с относительно крупным золотом на ранней стадии становления месторождения, а также с интенсивным эпикристаллизационным метаморфическим преобразованием золота.

4. Использование анализа геохимических особенностей золота с учётом изменчивости их состава в эндогенных и гипергенных условиях способствует более достоверному определению рудно-формационной принадлежности коренных источников при геолого-разведочных работах и идентификации золота при криминалистических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
2. *Геология золоторудных месторождений Востока СССР // Золоторудные месторождения СССР. В 5-ти томах. Т. 4.* – М.: ЦНИГРИ, 1988. – С. 93–106.
3. *Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.И.* Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. – М.: Наука, 1967. – 382 с.
4. *Константинов М.М.* Золоторудные месторождения России. – М.: Из-во Акварель, 2010. – 365 с.
5. *Крылова В.В., Косовец Т.Н., Косова Г.П.* Золотоносные минеральные ассоциации близповерхностного золоторудного месторождения (Приамурье) // Труды ЦНИГРИ. – 1979. – Вып. 143. – С. 173–182.
6. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.
7. *Пискунов Ю.Г., Зарембский Е.П., Козлова Л.А.* К минералогии скарнов месторождения Многовершинное // Геология Дальнего Востока. – Владивосток: Изд-во АН СССР, 1975. – С. 224–254.
8. *Щербина В.В.* Основы геохимии. – М.: Недра, 1972. – 296 с.

REFERENCES

1. *Balashov Yu.A.* Geokhimiya redkozemel'nykh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka publ. 1976. 267 p.
2. *Geologiya zolotorudnykh mestorozhdeniy Vostoka SSSR* [Geology of gold ore deposits in the East of the USSR]. Zolotorudnyye mestorozhdeniya SSSR. V 5 tomakh. V. 4. Moscow, TSNIGRI publ. 1988. P. 93–106.
3. *Izokh E.P., Russ V.V., Kunayev I.V., Nagovskaya G.I.* Intruzivnyye serii Severnogo Sikhote-Alinya i Nizhnego Priamur'ya, ikhrudonosnost' i proiskhozhdeniye [Intrusive series of the Northern Sikhote-Alin and Lower Amur region, their ore content and origin]. Moscow, Nauka publ. 1967. 382 p.
4. *Konstantinov M.M.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii [Gold deposits in Russia]. Moscow, Akvarel' publ. 2010. 365 p.
5. *Krylova V.V., Kosovets T.N., Kosova G.P.* Zolotonosnyye mineral'nyye assotsiatsii blizpoverkhnostnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Priamur'ye) [Gold-bearing mineral associations of a near-surface gold ore deposit (Amur region)]. Trudy TSNIGRI. 1979. Vyp. 143. P. 173–182.
6. *Moiseyenko V.G., Eyrish L.V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Vostoka Rossii [Gold deposits of the East of Russia]. Vladivostok, Dal'nauka publ. 1996. 352 p.
7. *Piskunov Yu.G., Zarembskiy Ye.P., Kozlova L.A.* K mineralogii skarnov mestorozhdeniya Mnogovershinnoye [To mineralogy of skarns of the Mnogovershinnoye deposit]. Geologiya Dal'nego Vostoka. Vladivostok, AN SSSR publ. 1975. P. 224–254.
8. *Shcherbina V.V.* Osnovy geokhimii [Fundamentals of Geochemistry]. Moscow, Nedra publ. 1972. 296 p.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

К генезису золото-серебряного месторождения Купол (Северо-Восток России)

Н.С.ОСТАПЕНКО, О.Н.НЕРОДА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГИП ДВО РАН); 675000, Амурская область, г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1)

На основании анализа опубликованных геологических материалов по золото-серебряному месторождению Купол (Чукотка) и распространённости в рудном поле субвулканических тел риолитов и риодацитов предложена новая версия его генезиса. Обосновывается активная тепловая рудоформирующая роль сближенных тел верхнемеловых риодацитов и риолитов завершавшего меловой вулканический цикл многофазного субвулканического комплекса, инициировавших и длительно поддерживающих конвекцию магматогенных глубинных флюидов и минералоотложение в совмещённом экранированном магмо- и флюидопроводнике.

Ключевые слова: Au-Ag месторождение Купол, магмопроводник, флюидопроводник, породный экран, субвулканические тела риолитов, околоинтрузивная конвекция флюида.

Остапенко Николай Степанович
доктор геолого-минералогических наук



ostapenko_ns@mail.ru

Нерода Ольга Николаевна

neroda67@mail.ru

On the genesis of the gold-silver deposit Kupol (North-East of Russia)

N.S.OSTAPENKO, O.N.NERODA (Institute of Geology and Natural Management of the Far Eastern Branch RAS, Blagoveschensk, Russia)

A new version of genesis of the epithermal gold-silver deposit Kupol (Chukotka), its mineral composition of ores and conditions of ore-localization based on the analysis of published geological materials on the geological structure had purposed in this article. The active thermal ore-forming role of completing the volcanic cycle of the multiphase subvolcanic complex' the proximal bodies of the Upper Cretaceous rhyolites had been proved. The main factors of this deposit' formation and the conditions that favored the appearance of large ore bodies and rich ores were considered. The magma chamber, unified faulty magmatic and fluid conductor, rock screen, flank clusters of subvolcanic rhyolite bodies and their integral thermal anomalies that initiated and sustained the deep fluid thermal convection under the screen, its mixing with fractured pore and meteoric waters and formation of gradient temperature zones, were considered among the main factors. The conjugation of these factors in space and time, the active tectonic regime and the long-term preservation of the deformation plan were the favorable conditions for ore formation. They maintained the high permeability of the fluid conductor, prevented a wide dispersion of fluids and provided a telescopic deposition of different mineral parageneses.

Key words: Au-Ag deposit Kupol, magma conductor, fluid conductor, rock screen, subvolcanic complex, thermal convection of fluid.

Месторождение Купол находится в Анадырском районе Чукотки в западной периферии Охотско-Чукотского вулканического пояса в границах Кайемравемского рудного узла вблизи пересечения трёх региональных глубинных разломов фундамента [2, 4, 13, 16, 17]. Месторождение выявлено в 1995 г., оценено и предварительно разведано к 2007 г. ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания». Это близповерх-

ностное золото-серебряное месторождение в поздне-меловых вулканитах с жильными и жильно-прожилковыми рудными телами представляет интерес для исследователей и поисковиков своей неординарностью [13]: компактным расположением богатых рудных тел в узкой протяжённой разломной зоне, большим вертикальным размахом промышленных тел (400–450 м), крупными, разведанными уже на первом

этапе [7] запасами золота и серебра 165 т и 2390 т, соответственно, богатыми рудами (средние содержания золота 22,8 и серебра 281,1 г/т), позволяющими вести его отработку карьерным и подземным способами. В дальнейшем детальная разведка бурением, подземными выработками и скважинами из них была продолжена корпорацией Кинросс. В результате общие запасы золота были увеличены и к настоящему времени составляют около 200 т.

Месторождение эксплуатируется с 2008 г., с переработкой около 1 млн. т. руды в год. Извлечение золота и серебра из руд осуществляется по комбинированной технологической схеме с гравитацией и цианированием. Извлечение золота из руд по такой схеме составляет 93,8, а серебра – 78,8%. Исследователи [1, 4] предполагают генетическую связь формирования этого месторождения с вулканическими процессами и участие в рудоформировании [14] фумарол и сольфатар.

Высокие темпы отработки месторождения (в среднем свыше 15 т золота в год) предполагают скорое исчерпание разведанных запасов и завершение отработки разведанных рудных тел месторождения к 2024 г. Для того, чтобы это детально разведанное к настоящему времени месторождение сделать хорошо изученным эталоном крупных эпитермальных рудных объектов с золото-серебряной минерализацией, необходимо, пока оно почти повсеместно доступно для изучения, прояснить ряд ещё не до конца решённых важных вопросов его генезиса: установление всех факторов и условий, благоприятствовавших формированию крупных и богатых золотом и серебром рудных тел; выявление особенностей состава минерализации на различных глубинах и её изменения по латерали; уточнение реальных соотношений рудных тел с субвулканическими телами и дайками риолитов и риодацитов, а также получение достоверных изотопных датировок времени формирования руд.

В многочисленных публикациях по месторождению эти вопросы освещены пока ещё фрагментарно и неоднозначно. А для эффективного прогнозирования подобных экономически важных золото-серебряных рудных объектов с богатыми рудами в различных вулканических поясах необходимо знать все аспекты его формирования. По результатам анализа опубликованных геологических материалов по месторождению, с привлечением известных результатов моделирования развития околотрузивных тепловых полей отечественными и зарубежными исследователями [8, 18, 19, 21] применительно к субвулканическим телам авторы статьи обосновали новую версию предполагаемого формирования этого крупного рудного объекта. На основании ряда приведён-

ных ниже признаков они полагают, что месторождение сформировалось в тандеме магматического очага (источника металлов) и его дифференциатов, а именно – в тепловом поле субвулканических тел риолитов и риодацитов. Минералоотложение, предположительно, происходило в процессе околотрузивной конвекции поступающего глубинного металлоносного флюида среди проницаемых пород тектонической зоны, являющейся одновременно магмопроводником, флюидопроводником и вместилищем руд. Приведём обоснование этой версии.

Геологическое строение месторождения и минеральный состав руд. Сведения о геологическом строении месторождения в связи с их широкой известностью авторы изложили в своей статье кратко, с необходимыми акцентами, важными для обоснования предлагаемой генетической версии. Месторождение размещается среди пологозалегающих вулканогенных отложений верхнего мела в околкальдерной части Кайемравеевской вулканической структуры [2, 16, 17]. Рудная минерализация контролировалась меридиональной субвертикальной протяжённой разломной зоной (рис. 1). Важными особенностями этой зоны являются сопряжённое размещение в ней богатых золотом мощных кварцевых жил и прожилковых зон, двух фаз даек верхнемеловых риолитов [4] и, как следует из карт рудного поля в работах [14 и 20], близкое нахождение в её восточном крыле двух фланговых групп субвулканических тел кислого состава в ассоциации с экструзиями. Крутозалегающие дайки и золотоносные жилы в зоне или сближены, или взаимно контактируют и следуют параллельно на протяжении около 4 км. Большинство авторов [3, 12, 14, 17] считает дайки риолитов послерудными. Многие исследователи отмечают, что контакты жил и даек обычно сорваны [4, 7, 20]. Это, несомненно, затрудняет установление их реальных взаимоотношений. Авторы данной статьи не встречали в публикациях сведения о радиогенном возрасте оруденения на этом месторождении.

В рудоносной тектонической зоне, по разным данным, выделяется от 11 до 16 рудных тел (жил) протяжённостью 180–2400 м и варьирующей мощностью 0,6–20,7 м [4, 6, 17, 20]. Из них два основных являются наиболее крупными. Рудоносная зона имеет сложное кулисное строение (см. рис. 1), особенно в своей средней части (рис. 2), в пределах дугообразного изгиба, южнее которого она расщепляется на ряд коротких тел, выклинивающихся в южном направлении. На продольной вертикальной проекции рудоносной зоны (рис. 3) видно неравномерное распределение накоплений золота по латерали и вертикали. Более обогащены золотом верхние горизонты жил центральной части зоны. Верхняя часть богатых

рудных тел здесь значительно эродирована. От неё на юг и север намечается отчётливое пологое погружение общего контура богатых золотом руд. Для северного фланга это частично связано также со смещением вниз северной части рудоносной зоны по пострудному ступенчатому сбросу северо-западного

простираения. В этой опущенной, совершенно незродированной части зоны отмечается надрудная аргиллизация рудовмещающих пород [4]. Установленный вертикальный размах промышленного оруденения здесь превышает 450 м.

Присутствие на северном фланге месторождения над рудовмещающей толщей андезитов и андезитобазальтов останцов тонкозернистых покровных риолитовых туфов и игнимбриков верхней толщи разреза вулканитов с наложенной метасоматической аргиллизацией позволяет авторам предположить, что эта толща могла выполнять роль экрана металлоносных флюидов при формировании минерализации на всём протяжении рудоносной зоны. Из приведённых в литературе геологических данных по этому месторождению можно заключить, что оруденение формировалось в зоне длительно и динамично развивавшегося магмо- и флюидопроводящего крутозалегающего меридионального разлома в экранированной гидротермальной системе.

Рудная минерализация жил и сопровождающих их прожилковых зон отнесена исследователями [2, 12, 17] к золото-серебряному сульфосолевому типу с богатыми бонанцевыми рудами. Рудоформирование происходило в несколько стадий, вторая и третья из которых являлись продуктивными. Наиболее распространённые рудные минералы жил и прожилковых зон представлены пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, акантитом, блёклыми рудами [2, 12]. В значительных количествах в составе второй продуктивной золото-полисульфидно-адуляр-кварцевой ассоциации (стадии) присутствуют сульфосоли серебра (пирсеит, полибазит, пираргирит, прустит, стефанит) и селениды золота и серебра. Золото в рудах присутствует в основном в виде мелких (<0,1–0,3 мм), иногда до 2,2 мм самородных частиц разной пробы (от 280 до 875‰) и редких выделений его сульфидов – петровскита, ютенбогаардтита и селенида – фишессерита [2, 12–14]. Общее количество рудных минералов менее 1%. В рудных телах, особенно на их верхних уровнях, наиболее распространены колломорфно-полосчатые, фестончато-полосчатые, брекчиевые текстуры, а менее широко и в основном на более глубоких уровнях – друзовые, крустификационные и кокардовые [12]. Из структур кварцевых руд наиболее распространены структуры замещения, тонкозернистые и сферолитовые. Формирование руд происходило в близповерхностных условиях при температурах ниже 300°C [3, 11].

Обсуждение проблемы генезиса месторождения. Представления некоторых исследователей [1, 4, 13] о генетической связи оруденения с вулканическим процессом сомнения у авторов не вызывают, но они

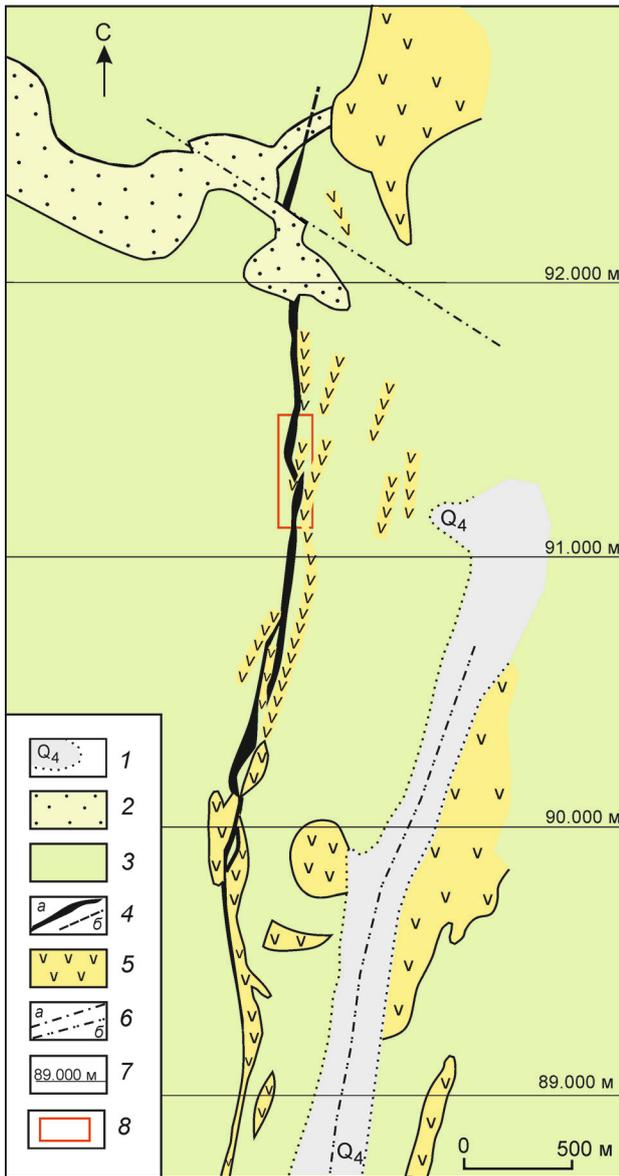


Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Купол. По данным [14, 20]:

1 – аллювий; 2 – туфы риолитов и риодацитов; 3 – андезиты и андезитобазальты (лавы и туфы), K_2 ; 4 – выходы кварцевых жил на поверхность (а) и в слепом залегании (б); 5 – дайки и более крупные субвулканические тела риолитов и риодацитов, K_2 ; 6 – разломы: а – установленные и б – предполагаемые под аллювием; 7 – разведочные профили; 8 – положение рис. 2

весьма неконкретные для использования в прогнозных целях.

О соотношениях субвулканических штоков и рудной минерализации. Некоторые исследователи [2 и др.] отмечали, что на территории Кайемравеемского рудного узла проявления золото-серебряной минерализации часто пространственно ассоциируют с субвулканическими и экструзивными телами риолитов и риодацитов, являющимися индикаторами размещения побочных центров вулканических извержений. Анализ геологических карт рудного поля, приведённых в работах [12, 20], позволил выделить в рудном поле два таких скопления на флангах основной рудоносной зоны (см. рис. 1). Согласно [15], формирование вулканических накоплений средней (андезиты и андезибазальты) и верхней (туфы риолитов и игнимбриты) толщ еропольской свиты (K_2), по данным К-Аг метода, происходило в интервале от $94,5 \pm 2$ до $89,5 \pm 2$ млн. лет. Следовательно, формирование завершающих верхнемеловой вулканизм субвулканических тел и связанной с ними золото-серебряной минерализации происходило в интервале примерно 89–90 млн. лет. Для завершающих формирование комплекса кислых пород (K_2) даек риолитов получен изотопный U-Pb возраст аксессуарных цирконов (SHRIMP-II метод): $88,89 \pm 0,87$ млн. лет (среднее из трёх анализов). На основе этих данных предполагаемый возраст штоков и установленный возраст даек риолитов оказались довольно близкими.

О геологических соотношениях даек и оруденения. Авторы считают, что категоричные утверждения многих исследователей о додайковом возрасте жил недостаточно обоснованы конкретными фактами, тем более, что дайки кислого состава внедрялись как минимум в две фазы [4]. Отмечаемые в работах [6, 12, 17] данные о присутствии ксенолитов кварца в дайках, без привязки их к фазам, вполне могли относиться к дайкам риолитов поздней фазы. Геологами корпорации Кинросс [20] отмечены околожильные гидротермальные изменения (гидрослюдизация) некоторых даек в интервалах до 1–5 м от контактов с жилами. В работе [2] отмечены развитие в приконтактной части дайки завершающего постпродуктивного антимонит-марказит-кварцевого парагенезиса и экранирование минерализации дайками. Все эти факты могут свидетельствовать об обратном. В работе [16, стр. 237] содержится утверждение, что «формирование рудной зоны месторождения Купол контролируется мощной и протяжённой дайкой риолитов». В работе [9] отмечено наличие в жилах и вблизи даек риолитов эксплозивных брекчий с обломками риолитов, окружённых кварцем и рудными парагенезисами. Дополнительный

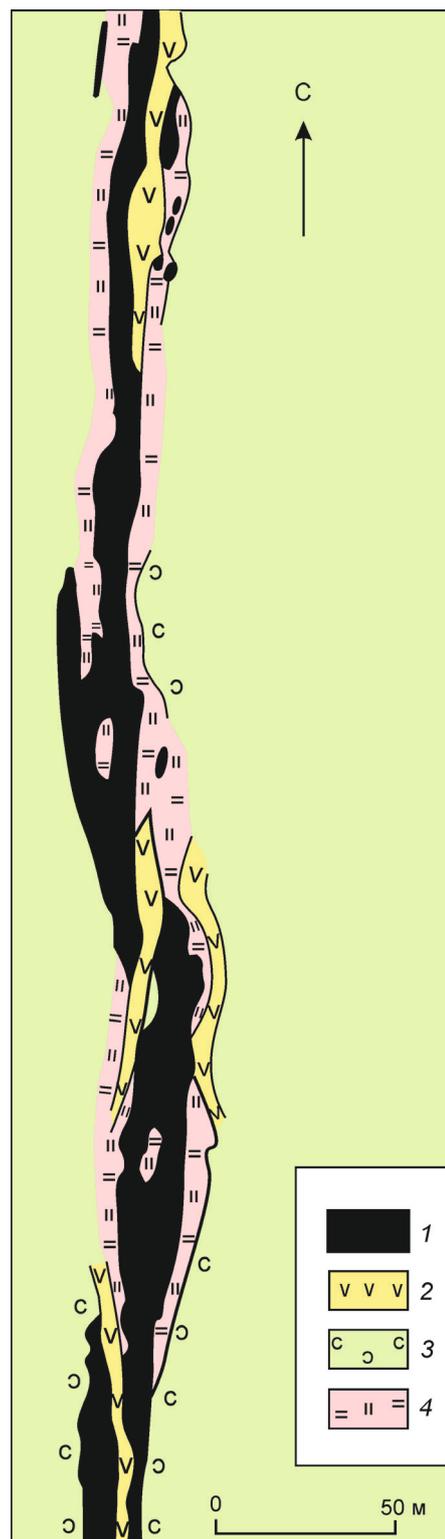


Рис. 2. Размещение кварцевых жил и даек риолитов в тектонической зоне среди андезибазальтов верхнего мела в центральной части месторождения Купол [20]:

1 – жилы кварца; 2 – дайки риолитов; 3 – туфы и лавы андезибазальтов; 4 – дроблёные породы

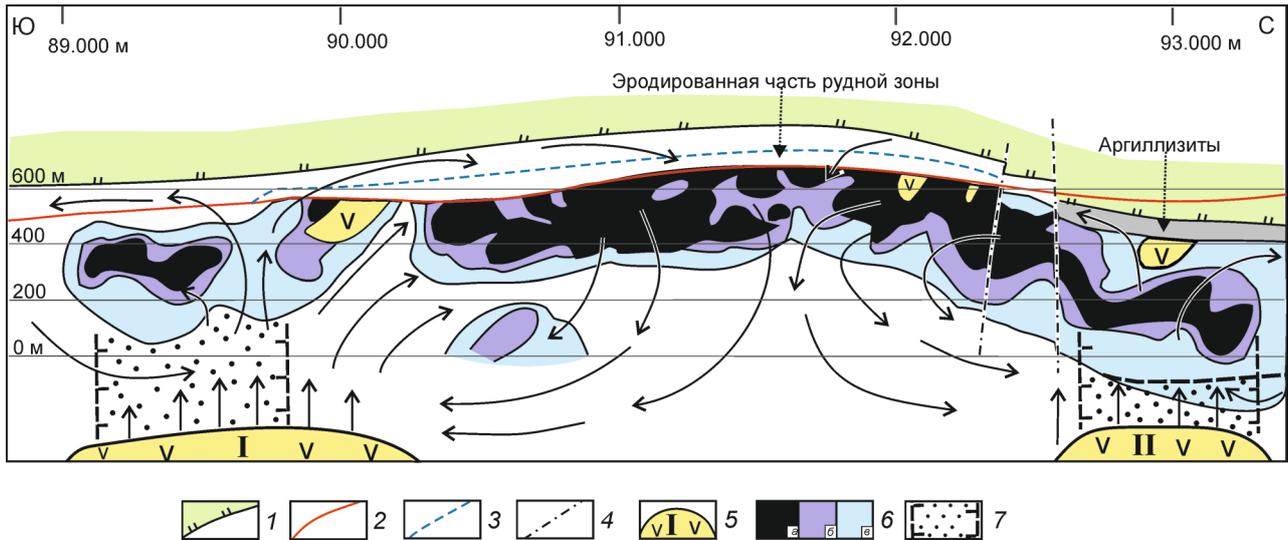


Рис. 3. Продольная вертикальная проекция месторождения Купол на вертикальную плоскость с отражением его геологической обстановки, структуры продуктивности золотоносной зоны и конвективных потоков флюидов на этапе рудоформирования:

1–4 – различными линиями показаны: 1 – подошва экрана, разделяющая толщи перекрывающих покровов игнимбритов и туфов риолитов и подстилающих рудовмещающих андезитов и андезибазальтов, 2 – поверхность современного эрозионного среза месторождения, 3 – примерная верхняя граница эродированной части рудоносной зоны, 4 – ступенчатый вертикальный сброс; 5 – корневые системы фланговых скоплений субвулканических тел риолитов и риодацитов: южное (I) и северное (II) и размещение некоторых даек; 6 – структура продуктивности рудоносной зоны на золото (содержания (г/т)×мощность (м) сечения зоны), по работе [20]: а – высокая (75–100 и более), б – промежуточная (25–75), в – минимальная (4–25); 7 – установленные бурением вертикальные фланговые продолжения рудной зоны на глубину; стрелками показана около- и надинтрузивная тепловая конвекция флюидов на этапе рудоформирования

довод о возможно ином соотношении рудных тел и даек вытекает и из минерального состава руд. Доминирующая часть серебра в рудах при обилии минеральных форм серебросодержащих сульфосолей и блёклых руд связана в акантите [6, 11, 12]. Согласно А.А.Годовикову [5], этот минерал образуется и устойчив при температурах рудообразования заведомо ниже 173°C. Выше такой температуры акантит неустойчив и переходит в аргентит. Следовательно, если бы все дайки риолитов были послерудными, то, по крайней мере, на контактах с ними за счёт теплового воздействия на руды акантит был бы массово замещён аргентитом. Однако аргентит в рудах исследователи не отмечают. Из этого можно сделать вывод о возможном предрудном-синрудном внедрении и становлении, по крайней мере, ранней фазы даек риолитов.

Следовательно, рудные тела могли формироваться в одних и тех же разломных магмо- и флюидопроводящих структурах вслед за внедрением основной части тел субвулканического комплекса риолитов-

риодацитов и, возможно, во время становления даек риолитов ранней (?) фазы внедрения. По [4], данный комплекс завершал меловой вулканический цикл. Это означает, что субвулканические тела и, возможно, дайки риолитов ранней фазы могли быть синрудными рудоформирующими. К аналогичному выводу авторы статьи пришли при анализе роли субвулканического силла дацита переменной мощности при формировании рудных тел эпитепимального золото-серебряного месторождения Покровское в Приамурье [10].

Тепловая конвекция флюидов. Исходя из морфологии рудной зоны в продольной проекции (см. рис. 3), основная конвекция флюида, предположительно, развивалась встречно от двух фланговых скоплений субвулканических тел (эпицентров тепловых аномалий) в направлении к наиболее проницаемой центральной части рудоносной зоны. К флангам мощность и проницаемость этой зоны значительно снижались, поэтому размер краевых конвективных ячеек был менее значителен, а минерализация на южном фланге менее

продуктивная [4, 17]. Однако в зоне сопряжения субвулканических тел и круто наклонённого на восток флюидопроводника разведочными работами последних лет [20] установлено распространение промышленных руд на значительно большую глубину.

Богатые руды и высокая продуктивность по золоту и серебру присущи наиболее проницаемой центральной части рудоносной зоны, где под предполагаемым куполом экранирующей толщи кислых туфов и игнимбритов остывающие смешанные растворы отлагали основную массу рудных минералов продуктивных ассоциаций. Авторы полагают, что малопроницаемые породы основания экрана были аргиллизированы на протяжении всей рудоносной зоны, но к настоящему времени, кроме сброшенной северной части зоны, они совместно с рудами верхней части зоны почти повсеместно эродированы (см. рисунки 1 и 3). Конвекция поступающего глубинного флюида инициировалась интегральным теплом двух фланговых скоплений субвулканических тел с момента внедрения ранних фаз субвулканического комплекса и длилась до остывания тел завершающих его фаз и, возможно, ранних даек риолитов.

По [9], метасоматизированы все породы рудного поля. Метасоматоз вмещающих пород в рудной зоне начинался при достаточно высоких температурах с образования в них бурого биотита, эпидота, возможно, амфиболов и оторочек санидина на плагиоклазах. Отложения жильного кварца, самородного золота, ранних сульфидов железа, меди, цинка и свинца начинались при температурах 300°–270°С и продолжались в основном при 260°–220°С [3, 11, 16], а электрума, сульфидов и селенидов золота, серебра и сурьмы, а также блёклых руд и сульфосолей серебра при этих же и, предположительно, ещё более низких температурах. Как уже было отмечено выше, широко представленный в первичных рудах основной минерал серебра – акантит – мог отлагаться при температурах заведомо ниже 173° С.

Факторы и условия, благоприятствовавшие формированию богатых руд: магматический очаг и динамично развивающаяся Средне-кайемравеемская глубинная разломная структура (совмещённый магмо- и флюидопроводник) в его кровле, длительно поставлявшая в верхнюю кору расплавы и металлоносные флюиды; экранирующая толща туфов риолитов и игнимбритов – купольный покров над верхним выклиниванием этого разлома, способствовавший концентрации глубинных металлоносных флюидов, субвулканических тел, даек риолитов и риодацитов и накоплению тепловой энергии. Своим тепловым ресурсом фланговые группы крутозалегающих субвулканических тел на глубинных

участках сближения и сопряжения с крутонаклонённым на восток флюидопроводником могли инициировать и длительно поддерживать под экраном околоинтрузивную конвекцию поступающих глубинных флюидов, их смешивание с трещинно-поровыми флюидами и этим активно влиять на пространственное размещение минерализации. Каждый из данных факторов в отдельности вряд ли дал бы положительный эффект для рудонакопления, но их совокупность и сопряжённость в пространстве (в единой структуре) и времени обусловили формирование под экраном крупного месторождения золота и серебра с богатыми рудами. В этом состоит главное условие благоприятствования указанных факторов для накопления руд. Многофазность внедрения субвулканических тел кислого состава и многократные тектонические подвижки способствовали длительному поддержанию высокой проницаемости основного флюидопроводника, фокусированию флюидного потока в экранированную структуру, длительной околоинтрузивной конвекции флюидов, раскрытию и неоднократному дораскрытию крупных вмещающих жилы полостей, телескопированному отложению в объёме экранированной зоны последовательных минеральных парагенезисов.

Таким образом, рудоформирование на месторождении происходило длительно, в процессе многократных тектонических и гидравлических раскрытий и дораскрытий трещин в крупные полости. Это приводило к резким падениям давления флюида, его гетерогенизации, газоотделению и вследствие этого снижениям температуры и пересыщениям жидкой фазы золотом, серебром и другими компонентами и бурному минералоотложению в несколько последовательных стадий. О многократности дораскрытий полостей и пересыщений флюида свидетельствуют широкое распространение в жилах полосчатых текстур руд колломорфного строения и неоднократная смена минеральных парагенезисов [2, 4, 12], совместное нахождение в одних и тех же зонах роста в кристаллах кварца и аметиста газово-жидких и газовых флюидных включений [11, 16], а также обилие брекчиевых текстур руд.

Заключение. Из изложенных материалов следует, что месторождение Купол могло сформироваться в относительно закрытой гидротермальной системе в тандеме магматического очага (источника флюидов и металлов) и его дифференциатов – групп субвулканических тел риолитов и риодацитов (дополнительные источники тепловой энергии для рудообразования), в условиях совмещённого магмо- и флюидопроводника и динамичности развития сопровождающих тектонических событий.

1. Фланговые группы субвулканических тел авторы статьи считают рудоформирующими. Их интегральный тепловой потенциал генерировал во флюидопроводящей разломной зоне околоинтрузивную конвекцию поступающего глубинного флюида, способствовал активному его смешиванию с трещинно-порowymi водами и влиял на метасоматоз пород и рудонакопление. Вопрос об участии (или неучастии) в рудоформировании тесно ассоциированных с рудными телами даек риолитов пока остаётся неясным. Необходимо его целенаправленное доизучение.

2. С позиции изложенной версии более понятны присущие этому крупному эпитеpмальному месторождению следующие его «нетипичные» особенности:

- большой вертикальный размах оруденения (≥ 430 м) и пологие склонения к флангам общей поверхности рудоносной зоны можно объяснить наличием экрана, двух фланговых вертикальных колонн субвулканических тел риолитов и риодацитов и, как показано на рис. 3, генерацией ими встречной тепловой конвекции флюида;

- большие мощности жильных тел, особенно в их раздувах (до 21,2 м) – результат тектонических и гидравлических раскрытий и дораскрытий полостей;

- высокие содержания золота и серебра в рудных столбах и разнообразие продуктивных минеральных парагенезисов [2, 4, 12] – результат отмеченного экранирования гидротермальной системы и резких падений давления и пересыщений флюида при раскрытиях и неоднократных дораскрытиях полостей.

3. Исходя из предложенной генетической версии, шансы на выявление новых рудных тел предпочтительнее для восточной части рудного поля месторождения Купол. На склонах долины р. Средний Кайемравеем, а также под рыхлыми отложениями в её пойме, в сопровождающих основную флюидопроводящую и рудовмещающую разломную зону сопряжённых с ней нарушениях меньшего ранга могут быть обнаружены богатые рудные тела, сформировавшиеся в тепловых конвективных полях тех же групп субвулканических тел.

4. При локальном прогнозировании крупных эпитеpмальных золото-серебряных месторождений в различных вулканических поясах важно учитывать следующие критерии:

- пространственно-генетическую связь месторождений с субвулканическими телами среднего и кислого состава – дифференциатами завершающих этапов развития верхнекоровых вулканических очагов;

- их размещение в зонах сопряжения скоплений субвулканических тел с флюидопроводящими глубинными разломами;

- экранированность рудовмещающих структур.

Авторы надеются, что публикация статьи активизирует дальнейшее целенаправленное, углублённое изучение этого важного в практическом и генетическом аспекте месторождения, выделяющегося своими выдающимися параметрами и заслуживающего стать эталоном крупного эпитеpмального рудного объекта для прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я.* Структура и развитие Кайемравеемского вулканического поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 3. – С. 10–18.
2. *Вартанян С.С., Лоренц Д.А., Сергиевский А.П., Щепотьев Ю.М.* Золото-серебряные руды Кайемравеемского узла Чукотского автономного округа // Отечественная геология. – 2005. – № 4. – С. 10–16.
3. *Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е.* и др. Рудообразование на Au-Ag-эпитеpмальном месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54. – № 4. С. 350–359.
4. *Глухов А.Н.* Региональная геологическая позиция, структура и минералого-геохимическая зональность золото-серебряного месторождения Купол // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2008. – № 3. – С. 34–45.
5. *Годовиков А.А.* Минералогия. – М.: Недра, 1983. – 647 с.
6. *Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А.* и др. Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. – 2010. – № 3. – С. 36–50.
7. *Григорьев Н.В., Филонов С.В.* Особенности геологического строения золото-серебряного месторождения Купол // Золото северного обрамления Пацифика: международный горно-геологический форум. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. – С. 44–45.
8. *Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Рычагов С.Н., Гунин В.И.* Гидротермальные системы с паровыми резервуарами (концептуальные, экспериментальные и численные модели). – Новосибирск: СО РАН, 1996. – 184 с.
9. *Леонова В.В., Акинин В.В., Гельман М.Л., Глухов А.Н.* Характерные особенности петрографии рудовмещающего комплекса золото-серебряного месторождения Купол (Чукотка), новое определение возраста // Чтения памяти академика К.В.Симакова: тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Магадан, 27–29 ноября 2007 г. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007 – С. 94–95.
10. *Остапенко Н.С., Нерода О.Н.* Экспериментальное подтверждение рудоформирующей роли силла дацита на Покровском эпитеpмальном золоторудном месторождении Приамурья // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (27). – С. 6050–6054.
11. *Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А.* и др. Геохимические особенности рудообразующего флюида Au-Ag-эпитеpмального месторождения Купол (Северо-Восток России) // ДАН. – 2012. – Т. 447. – № 4. – С. 433–436.

12. *Савва Н.Е.* Минералогия серебра северо-востока России. – М.: Изд-во Триумф, 2018. – 544 с.
13. *Савва Н.Е., Бянкин М.А.* Au-Ag месторождение Купол – типичный или не типичный объект? // Чтения памяти академика К.В.Симакова. – Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. – С. 137–138.
14. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Бянкин М.А.* К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 5. – С. 597–609.
15. *Сахно В.Г., Григорьев Н.В., Курашко В.В.* Геохронология и изотопно-геохимическая характеристика магматических комплексов золотосеребряных рудно-магматических структур Чукотского сектора арктического побережья России // ДАН. – 2016. – Т. 468. – № 3. – С. 297–303.
16. *Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В.* и др. Геология и условия образования уникального золото-серебряного месторождения на Чукотке // ДАН. – 2007. – Т. 412. – № 2. – С. 234–239.
17. *Стружков С.Ф.* Провинция Охотско-Чукотского вулканогенного пояса / Золоторудные месторождения России // Под ред. М.М. Константинова. – М.: Акварель, 2010. – С. 213–241.
18. *Шарапов В.Н., Голубев В.С.* К динамике температурного поля гидротермальной системы при формировании жильных месторождений // Доклады АН СССР. – 1973. – Т. 208. – № 3. – С. 683–685.
19. *Cathles L.M.* An analysis of the cooling of intrusives by ground-water convection which includes boiling // Economic Geology. – 1977. – Vol. 72. – P. 804–826.
20. *Kupol Mine and Dvoynoye Mine Russian Federation.* Ed. by John Sims. AIPG Certified Professional Geologist. National Instrument 43–101. Technical Report. – 2015. – 146 p.
21. *Norton D, Knight J.* Transport phenomena in hydrothermal systems: cooling plutons // American Journal of Sci. – 1977. – Vol. 277. – P. 937–981.

REFERENCES

1. *Belyu V.F., Sidorov A.A., Volkov A.V., Vashchilov Yu.Ya.* Struktura i razvitiye Kayemraveyemskogo vulkanicheskogo polya (novyy rudnyy rayon Chukotki) [The structure and development of the Kayemraveemsky volcanic field (new ore region of Chukotka)]. Vulkanologiya i seismologiya. 2008. No. 3. P. 10–18.
2. *Vartanyan S.S., Lorents D.A., Sergiyevskiy A.P., Shchepot'yev Yu.M.* Zolotoserebryanye rudy Kayemraveyemskogo uzla Chukotskogo avtonomnogo okruga [Gold-silver ores of the Kayemraveemsky cluster of the Chukotka Autonomous Okrug]. Otechestvennaya geologiya. 2005. No. 4. P. 10–16.
3. *Volkov A.V., Prokof'yev V.Yu., Savva N.Ye., Sidorov A.A., Byankin M.A., Uytunov K.V., Kolova Ye.Ye.* Rudoobrazovaniye na Au-Ag-epitermal'nom mestorozhdenii Kupol, po dannym izucheniya flyuidnykh vklyucheniy (Severo-Vostok Rossii) [Ore formation at the Au-Ag-epithermal Kupol deposit, according to the study of fluid inclusions (North-East of Russia)]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 2012. T. 54. No. 4. P. 350–359.
4. *Glukhov A.N.* Regional'naya geologicheskaya pozitsiya, struktura i mineralogo-geokhimicheskaya zonal'nost' zoloto-serebryannogo mestorozhdeniya Kupol [Regional geological position, structure and mineralogical-geochemical zoning of the Kupol gold-silver deposit]. Vestnik SVNTS DVO RAN. 2008. No. 3. P. 34–45.
5. *Godovikov A.A.* Mineralogiya [Mineralogy]. Moscow, Nedra. 1983. 647 p.
6. *Goryachev N.A., Volkov A.V., Sidorov A.A., Gamyandin G.N., Savva N.Ye., Okrugin V.M.* Au-Ag-orudneniye vulkanogennykh pojasov Severo-Vostoka Azii [Au-Ag-mineralization of volcanogenic belts in North-East Asia]. Litosfera. 2010. No. 3. P. 36–50.
7. *Grigor'yev N.V., Filonov S.V.* Osobennosti geologicheskogo stroyeniya zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Kupol [Features of the geological structure of the Kupol gold-silver deposit]. Zoloto severnogo obramleniya Pat-sifika. Mezhdunarodnyy gorno-geologicheskiiy forum. Magadan, SVKNII DVO RAN publ. 2008. P. 44–45.
8. *Zhatnuyev N.S., Mironov A.G., Rychagov S.N., Gunin V.I.* Gidrotermal'nyye sistemy s parovymi rezervuarami (kontseptual'nyye, eksperimental'nyye i chislennyye modeli) [Hydrothermal systems with steam reservoirs (conceptual, experimental and numerical modeli)]. Novosibirsk, SO RAN publ. 1996. 184 p.
9. *Leonova V.V., Akinin V.V., Gel'man M.L., Glukhov A.N.* Kharakternyye osobennosti petrografii rudovmeshchayushchego kompleksa zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Kupol (Chukotka), novoye opredeleniye voz-rasta [Characteristic features of the petrography of the ore-bearing complex of the Kupol gold-silver deposit (Chukotka), a new definition of age]. Chteniya pamyati ak. K.V.Simakova: tezisy dokladov Vserossiyskoy nauch-noy konferentsii. Magadan, 27–29 noyabrya 2007. Magadan, SVNTS DVO RAN publ. 2007. P. 94–95.
10. *Ostapenko N.S., Neroda O.N.* Eksperimental'noye pod-tverzhdeniye rudoformiruyushchey roli silla datsita na Pokrovskom epitermal'nom zolotorudnom mestorozhdenii Priamur'ya [Experimental confirmation of the ore-forming role of dacite sill at the Pokrovskoe epithermal gold ore deposit in the Amur Region]. Fundamental'nyye issledovaniya. 2015. No. 2 (27). P. 6050–6054.
11. *Prokof'yev V.Yu., Volkov A.V., Sidorov A.A., Savva N.Ye., Kolova Ye.Ye., Uytunov K.V., Byankin M.A.* Geokhimicheskiye osobennosti rudoobrazuyushchego flyuida Au-Ag-epitermal'nogo mestorozhdeniya Kupol (Severo-Vostok Rossii) [Geochemical features of the ore-forming fluid of the Au-Ag epithermal Kupol deposit (North-East of Russia)]. DAN. 2012. V. 447. No. 4. P. 433–436.

12. Savva N.Ye. Mineralogiya serebra severo-vostoka Rossii [Mineralogy of silver in the north-east of Russia]. Moscow, Triumph publ. 2018. 544 p.
13. Savva N.Ye., Byankin M.A. Au-Ag mestorozhdeniye Kupol – tipichnyy ili ne tipichnyy ob'yekt? [Is the Kupol Au-Ag deposit typical or not typical?]. Chteniya pamyati ak. K.V.Simakova. Magadan, SVNTS DVO RAN publ. 2009. P. 137–138.
14. Savva N.Ye., Pal'yanova G.A., Byankin M.A. K probleme genezisa sul'fidov i selenidov zolota i serebra na mestorozhdenii Kupol (Chukotka, Rossiya) [On the problem of the genesis of gold and silver sulfides and selenides at the Kupol deposit (Chukotka, Russia)]. Geologiya i geofizika. 2012. V. 53. No. 5. P. 597–609.
15. Sakhno V.G., Grigor'yev N.V., Kurashko V.V. Geokhronologiya i izotopno-geokhimicheskaya kharakteristika magmaticheskikh kompleksov zolotoserebryanykh rudno-magmaticheskikh struktur Chukotskogo sektora arkticheskogo poberezh'ya Rossii [Geochronology and isotope-geochemical characteristics of magmatic complexes of gold-silver ore-magmatic structures of the Chukotka sector of the Arctic coast of Russia]. DAN. 2016. V. 468. No. 3. P. 297–303.
16. Sidorov A.A., Belyy V.F., Volkov A.V., Kravtsov V.S., Prokof'yev V.Yu. Geologiya i usloviya obrazovaniya unikal'nogo zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya na Chukotke [Geology and conditions for the formation of a unique gold-silver deposit in Chukotka]. DAN. 2007. V. 412. No. 2. P. 234–239.
17. Struzhkov S.F. Provintsiya Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Province of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt]. Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii / red. M.M.Konstantinov. Moscow, Akvarel' publ. 2010. P. 213–241.
18. Sharapov V.N., Golubev V.S. K dinamike temperatur-nogo polya gidrotermal'noy sistemy pri formirovanii zhil'nykh mestorozhdeniy [On the dynamics of the temperature field of the hydrothermal system during the formation of vein deposits]. Doklady AN SSSR. 1973. V. 208. No. 3. P. 683–685.
19. Cathles L.M. An analysis of the cooling of intrusives by ground-water convection which includes boiling. Econ. Geol. 1977. Vol. 72. P. 804–826.
20. Kupol Mine and Dvoynoye Mine Russian Federation. Ed. by John Sims. AIPG Certified Professional Geologist. National Instrument 43–101. Technical Report, 2015. 146 p.
21. Norton D, Knight J. Transport phenomena in hydrothermal systems: cooling plutons. American Journal of Sci. 1977. Vol. 277. P. 937–981.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

Феномен Бурейского оползня: данные полевых исследований и модель формирования

А.А.КОКОВКИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТиГ ДВО РАН); 680000, г. Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, 65)

Приведены результаты полевого изучения Бурейского скального оползня. Явление представлено как динамично развивающаяся, сложноорганизованная геологическая система. Изучена позиция оползня в региональной структуре, исследована внутренняя структура оползневого узла – его материнского субстрата, оползневого цирка, остаточного оползневого шлейфа и стенок отрыва. Выделен основной источник энергии оползнеобразования – напряжённо-деформированное состояние оползневого субстрата, доведённое до порога критичности импульсной сдвиговой тектоникой. Исследованы тектонические деформации, проявленные до и во время события, следы «цунами» и возвратной волны. Разработана эволюционная модель оползнеобразования.

Ключевые слова: оползень, цунами, сдвиговые деформации, напряжённо-деформированное состояние.

Коковкин Александр Александрович
доктор геолого-минералогических наук



kokovkin@itig.as.khb.ru.

Bureya rockslide phenomenon: field data and rockslide formation model

A.A.KOKOVKIN (Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS)

The results of Bureya rockslide field study are presented. The phenomenon appears to be a dynamically evolving geological system with a complicated structure. The position of a phenomenal rockslide in the regional geological structure is examined, and the internal structure of the rockslide (a source rock substrate, a rockslide cirque, a residual rockslide tail and scarps, and its host geological structure) is investigated. The main energy source of the rockslide formation is determined which is revealed to be the stress-strain state of the rockslide substrate reaching a critical threshold due to impulse strike-slip fault tectonics. Tectonic deformations displayed before and during the event and traces of a «tsunami» and a backward wave are investigated. The evolutionary rockslide model is developed.

Key words: rockslide, tsunami, strike-slip fault deformations, stress-strain state.

Бурейский оползень (рис. 1, А) сошёл с южного борта р. Бурей в её среднем течении (100 км выше Бурейской ГЭС) 12 декабря 2018 г. Русло реки оказалось полностью перекрытым, что мешало нормальной работе ГЭС и грозило подтоплением населённых пунктов выше по течению. Неординарность этого события с целым рядом его особенностей и вызванным им экологическим риском привлекли к нему пристальное внимание науки и общественности. Краткое сообщение о нём, составленное по данным космического мониторинга, было оперативно опубликовано Л.С.Крамаревой с коллегами [7]. Свежие следы этого события были изучены автором «in situ» в экспедиции 12–16 января 2019 г., проведённой вместе с группой сотрудников ИВЭП и ИТиГ ДВО РАН.

Специфику события определило то, что оползень развивался на крепком скальном субстрате в зимнее время. Температура воздуха 11–12 декабря на ближайшей метеостанции (пост Чекунда) ночью опустилась до $-36,2^{\circ}\text{C}$. Необычно и то, что развитие оползня сопровождалось мощной волной типа цунами. Такие явления обычно вызываются достаточно интенсивными землетрясениями. Однако сейсмологическим мониторингом ни здесь, ни на дальней периферии следов даже малых землетрясений зафиксировано не было. Тем не менее, сейсмостанциями Бурейской ГЭС (данные М.С.Харитоновой) отмечен проход двух цугов поверхностных волн небольшой интенсивности со скоростью порядка $3,17\text{ км/с}$ (см. рис. 1, Б). Первый, наиболее выраженный цуг

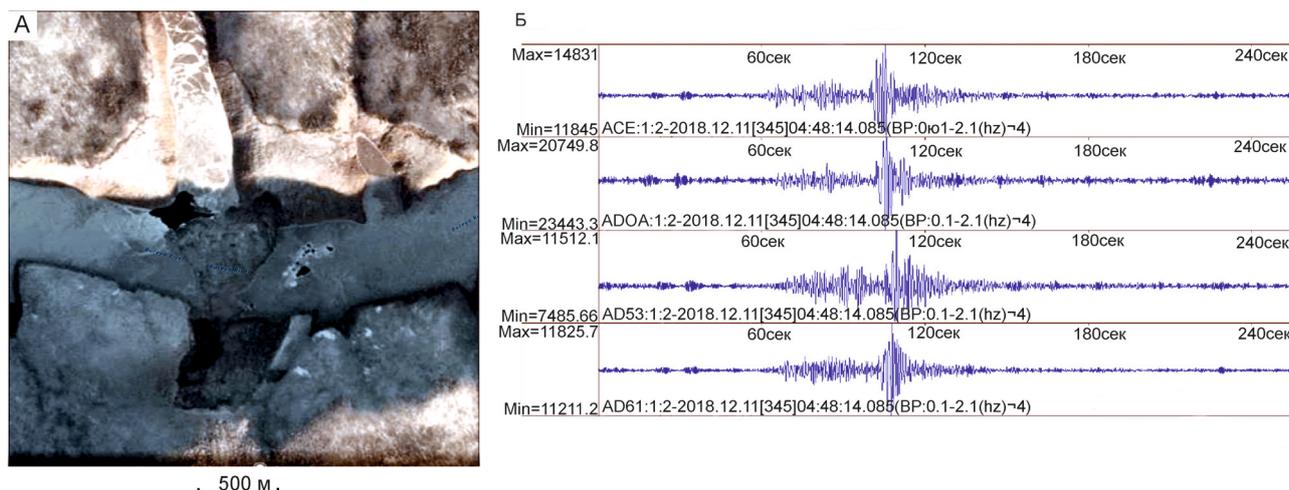


Рис. 1. Бурейская оползневая система. По данным М.Е.Харитоновой:

А – состояние оползня, по данным космического мониторинга, снимок 13.12.2018 г. <https://www.planet.com/explorer/>; Б – характер волнового сейсмического поля во время схода оползня, зафиксированный сейсмостанциями Бурейской ГЭС

прошёл 11.12.18 в 4 час. 48 мин. 48 сек (по Гринвичу), второй – через 4 мин. 25 сек. после него. Событие и было привязано по времени к интервалу, ограниченному этими цугами.

Для автора, уже имевшего опыт изучения оползневых систем Волжского Правобережья [6], ещё на стадии подготовки экспедиции обозначилась необходимость рассматривать Бурейский оползень как *сложноорганизованную геологическую систему*. Полученные в экспедиции сведения подтвердили эту установку и показали, что, кроме отмеченных явлений, событие несёт следы неоднократных тектонических деформаций субстрата оползня и его ближней периферии. Изучению этих деформаций было уделено самое пристальное внимание. В процессе работ были также получены данные по внутреннему строению оползня, исследованы следы «цунами» и возвратной волны, частично восстановившей нарушенное ею равновесие водной системы Буреи.

Анализ свежих, хорошо выраженных следов всех этих процессов с исследованием их взаимосвязей позволил развернуть во времени «мгновенно», динамично развивающуюся систему оползня и разработать вариант её непростой эволюционной модели. Эта модель также объясняет и вызванное оползнем сужение русла Буреи, сохранившееся и после проведённых там взрывных работ. Основные положения модели были изложены автором в докладе на Косыгинских чтениях [4].

Особенности методики работ. Особенностью оползней является *нерегулярность их распределения*

во времени и пространстве при почти мгновенном развитии, что практически исключает возможность непосредственного наблюдения за ними. Моделирование их систем выполняется *по следам* уже свершившихся событий. В связи с этим исключительно важен сам процесс выделения данных следов. Он далеко не прост – в завершившей своё формирование оползневой структуре значительная их часть маскирована различными до-, син- и постоползневыми процессами. По этой причине многие из данных следов не всегда фиксируются. Вероятно, именно поэтому классические модели оползней практически исключают из рассмотрения влияние на их формирование современной тектоники, а влияние землетрясений учитывается в них обычно лишь на уровне констатации сейсмического события, прошедшего в непосредственной близости от оползня.

Для корректного (всестороннего) изучения оползневой системы необходим *междисциплинарный подход*, позволяющий выделить весь комплекс оставленных ею следов и развернуть во времени и пространстве её сложноорганизованную систему. Методика таких исследований была разработана автором при изучении новейших разломов, деформационных систем землетрясений и астроблем Востока Азии, Поволжья и Намибии [2, 3, 5]. Их изучение проведено в рамках модели волновой нелинейной геодинамики, разрабатываемой автором на основе синергетической методологии и акцентированной на новейший (эоцен-голоценовый) этап. Все разломы Востока Азии, в соответствии с этой базисной моделью, развиваются



Рис. 2. Модель саморазвивающейся геологической системы. По работе [5]

в сложноорганизованном волновом (маятниковом) режиме знакопеременного сдвига. Этот режим определяет характер взаимодействия синхронно развивающихся разломных систем разной ориентировки и объясняет наличие двух существенных свойств континентальной коры – фрагментированности её разломов и сохранности целостности длительно функционирующих рифтогенных и орогенных структур, которые контролируются этими разломами.

С позиции синергетики *любая геологическая структура представляет собой результат необратимой эволюции соответствующей геологической системы* – открытой, самоорганизующейся, развивающейся в нелинейном, волновом режиме. Каждая система включает в себя *четыре основных элемента*: 1) источник энергии (E) и вещества (M); 2) область (зона) импорта энергии и вещества; 3) область локализации (внутреннего структурирования) и 4) область (зона) стока (диссипации или экспорта) энергии и вещества. Модель такой системы приведена на рис. 2.

Любой оползень представляет собой разновидность такой открытой системы. В качестве его обязательного элемента предполагается наличие *источника энергии* (E). Все оползни (в том числе скальные) приурочены к крутым бортам современных поднятий с расчленённым, неравновесным рельефом. Поднятия, на которых развиваются оползни, сформированы под влиянием новейшей сдвиговой тектоники. Сами поднятия развиваются в условиях *сжатия* и в связи с этим характеризуются высоким уровнем исходного *напряжённо-деформированного состояния* (НДС). Формируемое сдвиговой тектоникой сжатие и становится главным энергетическим источником систем оползнеобразования.

Склоны поднятий, на которых развиваются оползни, – это градиентная, метастабильная среда с действующим на ней контрастным, комплексным (фазовым, плотностным) барьером «земля–воздух».

Она уже подготовлена к разгрузке накопленных напряжений. При воздействии на неё дополнительных тектонических и(или) сейсмогенных (даже малоинтенсивных) деформаций её НДС может достичь порога критичности и тогда происходит мгновенная разгрузка напряжений. Большинство оползней – результат именно такой разгрузки.

Дополнительным фактором, способствующим сходу оползня, является флюидо-водонасыщенность материнского оползневого субстрата, повышающая степень его «ползучести». Это особенно характерно для *рыхлого, обводнённого* субстрата. С такой разновидностью оползней автор познакомился при изучении новейшей структуры Среднего Поволжья в интервале Камышин–Ульяновск [4]. Там оползни широко распространены на восточном борту волжского Правобережного свода с наложенной на него структурой абразионного уступа Волги. Сам свод сложен рыхлыми обводнёнными осадками мезозоя и кайнозоя. Все его оползни приурочены к зонам широтных новейших (в том числе голоценовых) разломов, насыщенных также и голоценовыми сейсмодислокациями.

В качестве исходной структурно-геологической основы, характеризующей состояние Бурейского оползневого узла *до начала* события, использована карта новейшей окраинно-континентальной структуры Востока Азии с данными по сеймотектонике [3] и геологическая карта района оползня масштаба 1:50 000 [2]. Сам узел был закрыт маршрутами с детальной документацией представительных обнажений. Все фото в статье выполнены автором, за исключением двух детальных снимков верхней (южной) стенки отрыва оползня, представленных в его распоряжение Д.Силантьевым.

Информативности проведённых наблюдений способствовала хорошая обнажённость территории, обеспечившая сохранность следов, оставленных в ходе оползнеобразования и на его подготовительных стадиях. Снежный покров во время экспедиции не превышал первых сантиметров. В данном случае помогла волна «цунами», очистившая большую часть изучаемой площади от растительности и ранее выпавшего снега. За границей её действия мощность снега достигала 0,5 м. Однако после образования оползня установилась необычно малоснежная для этих мест погода: снегопадов до конца экспедиции здесь не было. Обработка полученных полевых материалов дополнялась дешифрированием космоснимков мониторинговой системы Дальневосточного центра ФГБУ НИЦ «Планета».

Результаты работ. *Позиция Бурейского оползня в региональной структуре* определяется его приуроченностью к юго-восточной части Мельгинского

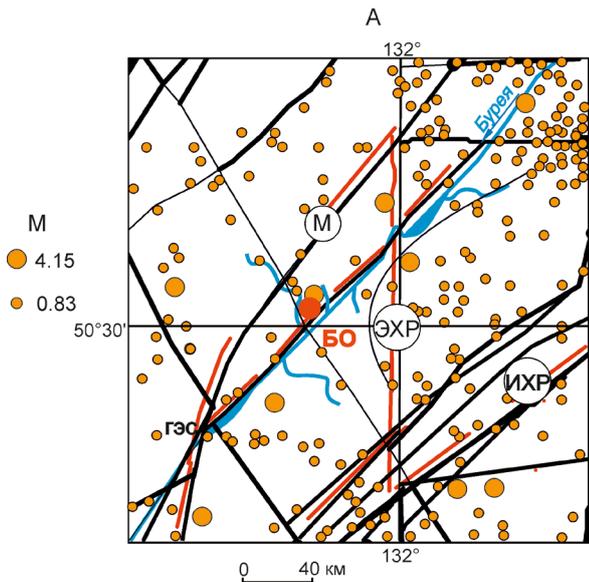


Рис. 3. Фрагмент карты сейсмотектоники окраинно-континентальной структуры Востока Азии [3–5] с позицией Бурейского оползня (БО) в узле сочленения Мельгинской (М), Эхилкан-Ханкайской (ЭХР) и Инкоу-Хинганской (ИХР) зон глубинных разломов:

красным помечены разломы с признаками активности в голоцене; эпицентры землетрясений (оранжевые кружки) взяты из каталога землетрясений России по состоянию на 2013 г. [10]

блока Буреинского массива – реликта протоплатформы в окраинно-континентальной структуре Востока Азии (рис. 3). Вмещающая оползень геологическая структура была активизирована в конце новейшего этапа сдвиговыми системами глубинных разломов: меридионального Эхилкан-Ханкайского и разломов северо-восточной ориентировки – Инкоу-Хинганского и Мельгинского. Долина Буреи вложена здесь в структуру сравнительно локального северо-восточного разлома, относящегося к Инкоу-Хинганской зоне. Мельгинский блок был расколот этим разломом в начале голоцена с взбросом его южного борта. На молодость разлома указывает *транзитный* характер Буреи на этом участке с руслом, глубоко (до 70 м) врезанным в крепкий скальный субстрат. О его молодости свидетельствует и насыщенность реки порогами, скрытыми после подъема уровня воды с образованием Бурейского водохранилища. Разлом усложнен ещё более молодыми кулисообразными смещениями по нарушениям меридиональной и северо-западной ориентировки, с амплитудой до 3,5 км. На оползневом фрагменте русло Буреи вложено в его широтную кулису.

Контролирующий оползень структурный узел, судя по карте М.В.Мартынюка [8], образован гранодиоритами палеозоя. Субстрат самого оползня, по данным полевых наблюдений, сложен в разной степени гранитизированными мета-андезитами протерозоя с прорвавшей их экструзией граносиенит-порфиров и дайками кислого-щелочного состава, вероятнее всего, мелового возраста. На рис. 4, А, Б показана ситуация оползневой узла до схода оползня. Рис. 4, В иллюстрирует состояние узла после события и во время полевых наблюдений.

Поперечный профиль русла Буреи на участке оползня (см. рис. 4, Б и В) *асимметричен*: с пологим северным бортом и крутым (прилегающим к разлому) южным. Блок *северного борта* – низкий, абсолютные отметки его поверхности не превышают 250 м. Сложен он мета-андезитами, проработанными с поверхности кайнозойской корой выветривания и палеоврезами, выполненными лимонитизированными пролювиальными осадками, вероятнее всего, плейстоценового возраста. Все вместе они были деформированы молодой (ранне-голоценовой) тектоникой.

Высокий, прилегающий к разлому *южный борт* отличается более контрастным рельефом с абсолютными отметками поверхности, повышающимися к водоразделу до 500 м, и уклоном 30–35°. В приводораздельной, более пологой части на нём лежит плащ рыхлых песчано-глинистых элювиально-делювиальных плейстоценовых осадков, под которым могла сохраниться и кора выветривания. В самом конце новейшего этапа этот борт был, очевидно, взброшен по отношению к северному борту Буреи с амплитудой около 200 м. О молодом возрасте взброса говорит наличие упомянутого, сохранившегося от эрозии плаща осадков плейстоцена.

Восточнее оползневой узла на топокарте (см. рис. 4, А) в русле реки, вблизи её южного борта, виден небольшой остров, сложенный сланцами протерозоя [8]. Судя по всему, этот остров (как и упомянутые выше пороги) – след более раннего скального оползня. Бурейский оползень, похоже, был здесь не первым. Сейчас этот остров также скрыт под водой. Топокарта и геологическая карта были составлены ещё задолго до появления Бурейского водохранилища.

Бурейская оползневая система, как отмечалось, оставила после себя *следы нескольких взаимосвязанных процессов* – собственно оползнеобразования, волны «цунами», возвратной волны и серии тектонических деформаций. Следы оползня, представленные собственно оползевым телом и его цирком, выражены наиболее ярко. *Оползневое тело* (см. рисунки 5 и 4, В) заполнило русло Буреи с выходом на её северный борт. Площадь надводной части

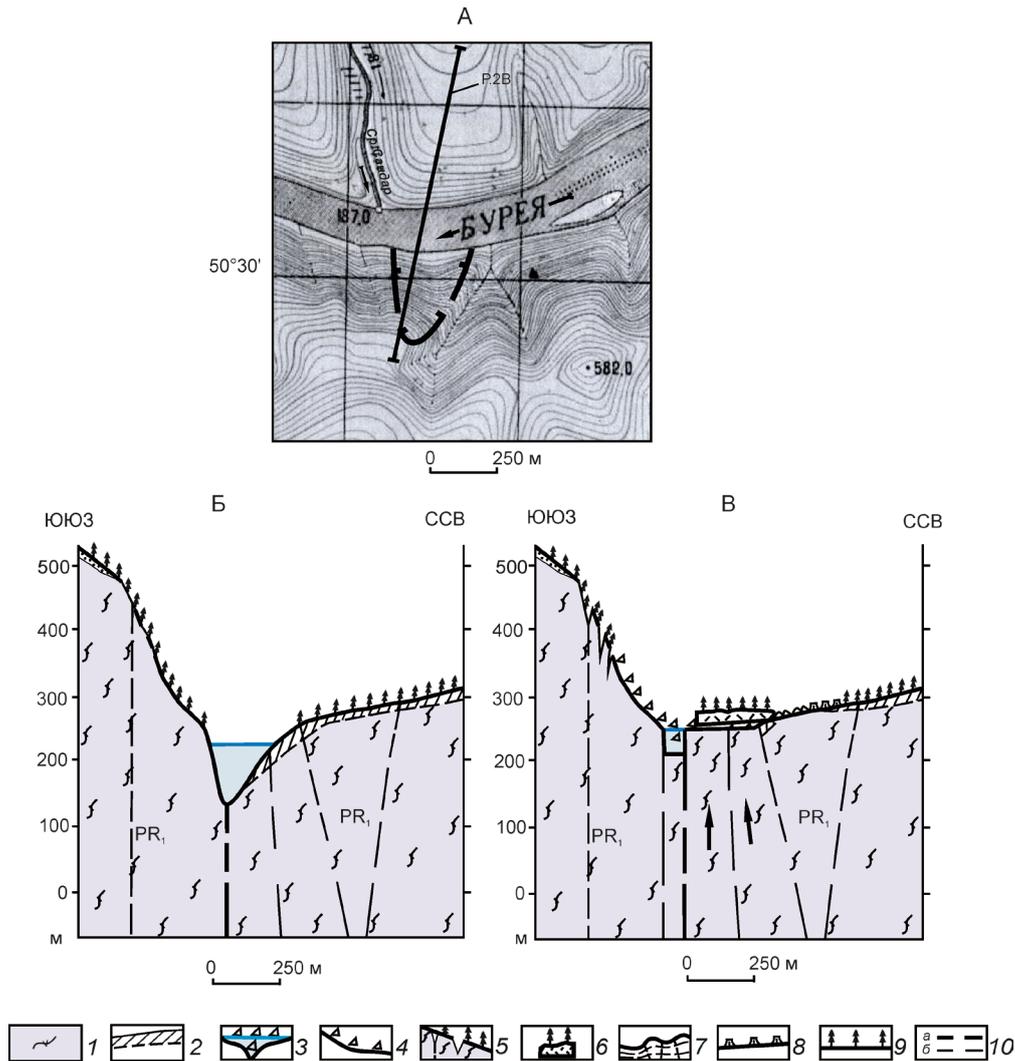


Рис. 4. Структура Бурейского оползневого узла:

А – топокарта района оползня (чёрный контур) до события, с линией геологического разреза; Б–Б' – геологические разрезы оползневого узла: Б – до схода оползня, Б' – во время наблюдений; 1 – мета-андезиты протерозоя; 2 – кайнозойская кора выветривания; 3 – оползневое тело в русле (голубое) с перемычкой (без цвета); 4 – остаточный шлейф оползня в нижней части цирка; 5 – тыловая часть оползня в верхней части цирка; 6 – оползневая пластина на северном борту Буреи; 7 – структура «бульдозинга»; 8 – след «цунами» со срезанным лесным покровом; 9 – ненарушенная «цунами» поверхность; 10 – разломы: а – основной, контролирующий русло Буреи, б – прочие

оползня – около 200 000 м², протяжённость по меридиану – до 900 м, по широте – до 500 м. Общий объём оползневого тела, исходя из морфологии оползневого цирка, параметров русла Буреи и высоты западной стенки отрыва оползня, не превышающей 25 м, составляет примерно 5 млн. м³. Объём его надводной части – около 2 млн. м³. Более высокие оценки объёма тела оползня связаны, по мнению автора, с включением в него «бульдозинговой» структуры.

У южного борта, где глубина реки максимальна, тело оползня просажено. Оно было представлено уз-

кой (около 200 м) *перемычкой* (см. рис. 5, Б), возвышавшейся над поверхностью подпруженной ею восточной части Буреи на 8–10 м, а над низкой западной – до 15 м. Перемычка сложена обломками свежих, массивных мета-андезитов размером от 10 см до 3 м. Через неделю после проведения экспедиции перемычка была взорвана.

Северная часть оползня представлена *пластиной граносиенит-порфиров* размером 350×250 м, мощностью не менее 25 м (см. рис. 5, В). Эта пластина, являющаяся фрагментом экструзивной постройки меловых

вулканитов, сместилась с южного борта Буреи. Её следы сохранились на востоке оползневого цирка в виде хорошо выраженной на космоснимке кольцевой структуры (см. рис. 5, А). Пластина внедрилась в коренные породы северного борта, а её южная часть перекрыла русло реки, сузив его более чем наполовину по сравнению с ситуацией до схода оползня. Это хорошо видно при сравнении космоснимков за 9 и 13 декабря 2018 г. (см. рисунки 5, А и 9, А).

Несмотря на почти километровое перемещение, пластина сохранила свою целостность и залегает при этом горизонтально. «Висячий» характер её южной, перекрывшей русло части говорит о том, что она лежит на довольно устойчивом основании. Поверхность пластины покрыта лишь незначительно нарушенным лесным покровом. На рис. 5, В видно, что небольшие деревья стоят на ней вертикально. Все крупные деревья наклонены к юго-западу, и лишь немногие из них сломаны. Наклоном деревьев обозначено северо-восточное направление смещения пластины. Отмеченная ненарушенность лесного покрова пластины свидетельствует о её относительно медленном перемещении в этом зажатом во времени оползневом событии и о его сложной организации.

Воздействие столь крупного, массивного тела на поверхность северного борта Буреи сопровождалось «бульдозингом» пород его поверхностной части с формированием на периферии пластины грубо-волновой деформационной структуры (см. рис. 5, Г). Близкие по характеру структуры развиваются на фронте надвига. На северо-западе «бульдозинговая» структура практически перекрыла приустьевую часть Среднего Сандара. Сложена она обломками размером до многометровых глыб в разной степени выветрелых и деформированных ранее новейшей тектоникой (до брекчий) мета-андезитов (см. рис. 5, Д–Е), также глыбами рыхлых окисленных грубо-обломочных осадков, образованных плейстоценовыми временными потоками (см. рис. 5, Е). Состав и размеры этих глыб достаточно однозначно указывают на их *местную* природу. «Длинное» перемещение таких механически неустойчивых пород с южного борта Буреи неизбежно привело бы к их полной дезинтеграции.

Здесь необходимо отметить ещё одну важную особенность формирования Бурейской оползневой системы – пластина с лесом и структура «бульдозинга» *наложены на поверхность, уже проработанную «цунами»*. Вся периферия пластины и зона «бульдозинга», в том числе, полностью лишены лесного покрова и почвенного слоя. К этой особенности мы ещё вернемся.

Цирк оползня (рис. 6, А) шириной около 500 м у границы с руслом реки сужается к его верховьям.

До центра склона его поверхность покрыта в основном обломками свежих, массивных, не затронутых выветриванием мета-андезитов. Размер обломков от сантиметров до 3–5 м (см. рис. 6, Б–В). Это *остаточный оползневой шлейф*. Многие из его глыб несут выраженные следы гранитизации – гнёзда, жильные выделения и скопления кристаллов плагиоклаза и калишпата. Судя по всему, это результат воздействия на мета-андезиты палеозойских гранитоидов, выходы которых получили широкое развитие на периферии оползневого узла. Дезинтегрированный характер обломочного материала этой части оползневой шлейфа говорит о воздействии на субстрат оползня мощного *импульса сжатия с интенсивным «сухим» дроблением* его пород.

Другой важной особенностью оползневой цирка является ярко выраженная *асимметрия*. У его западной стенки поверхность остаточного оползневой шлейфа просажена, а к восточной стенке она полого поднимается к самой её вершине. Это указывает на то, что материал оползня перемещался не только к северу, но и к востоку. Результирующий вектор его перемещения имел, судя по всему, *северо-восточную ориентировку*.

Ближе к вершине цирка в оползневом шлейфе появляются обломки выветрелых пород, а ещё выше – фрагменты смещённого элювиально-делювиального плаща с деформированным лесным покровом (см. рис. 6, Г). Это *тыловая зона оползневой системы* с намного более медленной динамикой. Оползень здесь остановился, только начав свое движение. Верхняя граница оползня (см. рис. 6, Г–Е) трассируется лишь неглубокими (первые метры) крутыми трещинами отрыва, с элементами дуговой в плане формы. На их плоскостях обнажены рыхлые, бурые элювиально-делювиальные осадки плейстоцена.

Боковые стенки оползневой цирка имеют субвертикальную ориентировку. Особенно ярко выражена *западная стенка* (рис. 7). На её плоскости обнажена *раскрытая сдвиг-надвиговая структура* характерного крупночешуйчатого строения (см. рис. 7, А). Субширотное простираение чешуй, круто подвёрнутых к югу и ограниченных открытыми трещинами, указывает на южное направление сформировавшегося их взбросо-сдвига. Развивалась эта структура в конце новейшего этапа: вероятно, в начале голоцена, во время формирования Бурейского разлома, но задолго до оползневой катастрофы. Эта раскрытая структура была, очевидно, обводнена, что способствовало «ползучести» оползневой субстрата. *Раскрытость и обводнённость* новейших сдвиг-надвиговых дислокаций – характерная черта Востока Азии [8].

Западная стенка цирка совмещена с *субмеридиональным сдвиговым нарушением*, наложенным на

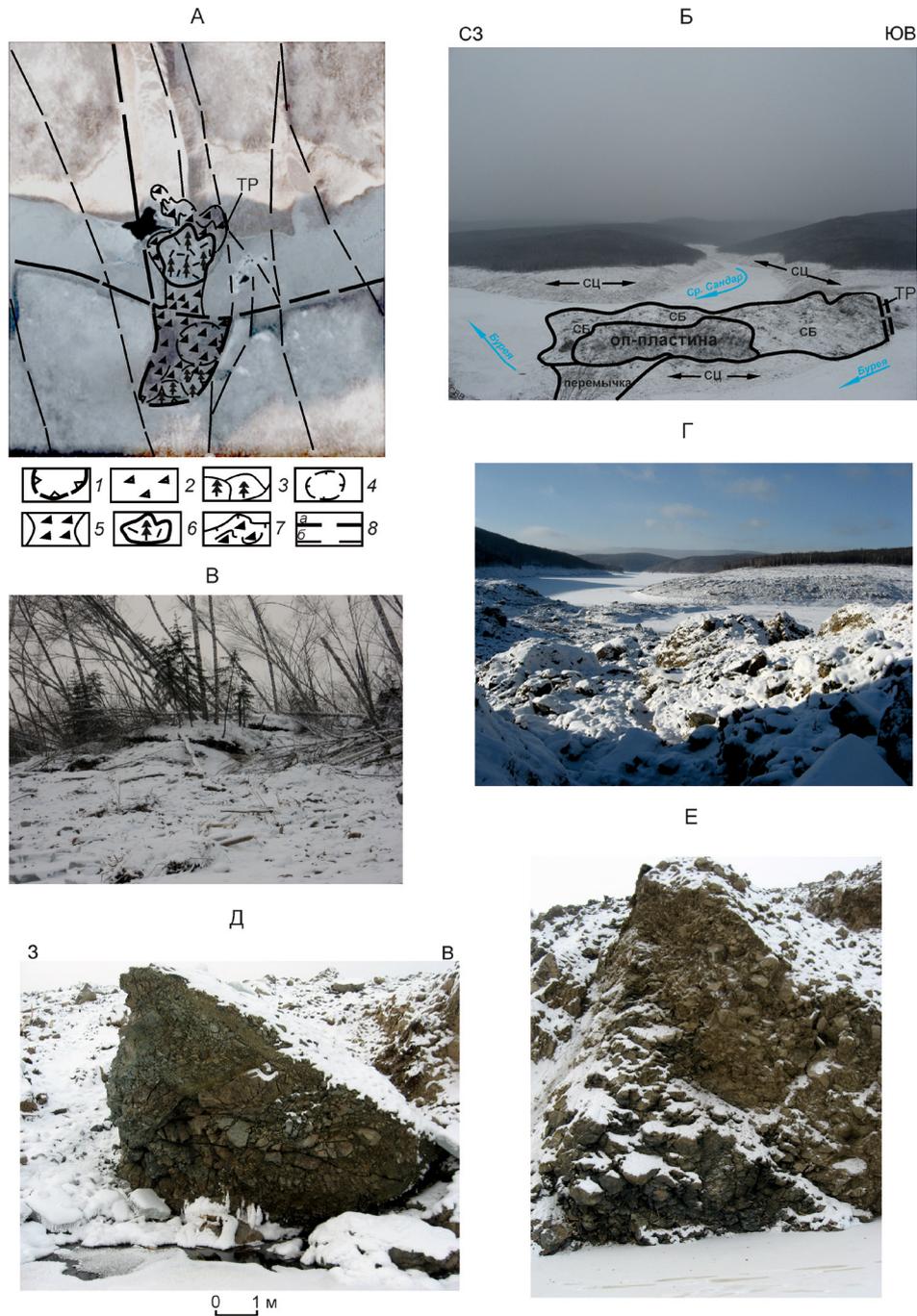


Рис. 5. Внутреннее строение оползневой системы:

А – схема дешифрирования космоснимка 13.12.2018 (см. рис. 1, А): 1 – контур оползневой цирка; 2 – оползневый шлейф нижней части цирка; 3 – тыловая часть оползня в верхней части цирка; 4 – кольцевая структура в цирке – реликт экструзии граносиенит-порфиоров; 5 – оползневая перемычка; 6 – оползневая пластина граносиенит-порфиоров на северном борту Буреи; 7 – зона «бульдозинга» на периферии пластины; 8 – разломы: основные (а) и прочие (б), ТР – структура тектонического рва; Б – северная часть оползневой узла, вид с юго-востока (с восточной стенки цирка): СЦ – след «цунами», оп-пластина – оползневая пластина граносиенит-порфиоров, СБ – структура «бульдозинга», ТР – тектонический ров; В – фрагмент оползневой пластины, вид с юго-востока; на переднем плане обломки тонкого льда и сучьев – след возвратной волны; Г – северо-западная часть структуры «бульдозинга», перекрывшая русло Среднего Сандара; Д–Е – глыбы выветрелых, деформированных до брекчий мета-андезитов (Д) и грубообломочных пролювиальных осадков плейстоцена (Е) в юго-восточной части «бульдозинговой» структуры; в русле у берега – проталины, след температурной аномалии

упомянутую надвиговую структуру непосредственно перед сходом оползня. Это нарушение прослеживается к северу, по долине Среднего Сандара, правого притока Буреи, и хорошо выражено на снимке от 13 декабря (см. рис. 5, А). На притёртой до зеркального блеска плоскости западной стенки видны *две системы борозд скольжения*. Первая (см. рис. 7, Б) имеет горизонтальную ориентировку, соответствующую времени формирования контролирующего её сдвигового нарушения. По поверхности её борозд растёт и лимонит, характерный для зоны поверхностного окисления, которая на Востоке Азии имеет плейстоцен-голоценовый возраст [2]. Вторая система борозд имеет субвертикальную ориентировку (см. рис. 7, В). Она отчётливо наложена на борозды первой системы и была образована, очевидно, непосредственно в момент отрыва оползневой тела.

Восточная стенка цирка (см. рисунки 5, А и 7, Г–Е) контролируется западным контактом дайки граносиенит-порфиоров. Линейная, меридиональная, субвертикальная структура этой дайки прослеживается снизу вверх по склону: от берега Буреи почти до вершинной части оползня. После взброса южного блока она на всём своём протяжении была препарирована эрозией. Жёсткая глубинная структура этой дайки в своё время ограничила развитие надвиговых (дооползневых) деформаций к востоку, сконцентрировав их на локальном фрагменте оползневой субстрата, что способствовало наращиванию его НДС. А непосредственно в ходе оползнеобразования экран дайки ограничил выброс дезинтегрированного оползневой материала в этом направлении, определив отмеченную выше *асимметрию* остаточного оползневой шлейфа. В центре склона дайка была при этом деформирована и частично перекрыта оползневой материалом (см. рис. 5, А). Отдельные крупные глыбы мета-андезитов размером до 7 м были выброшены за неё на 10–30 м к востоку (см. рис. 7, Е).

Дезинтегрированность пород оползневой шлейфа и перемычки, асимметрия оползневой шлейфа в центральной и нижней части цирка, выброс крупных глыб за восточную стенку свидетельствуют о *взрывном* характере оползнеобразования. Здесь, судя по всему, имеем не медленный сход, а мгновенный выброс оползневой материала, с полным перекрытием русла Буреи. На исключительно мощную энергетику этого выброса указывает и почти километровое перемещение пластины граносиенит-порфиоров.

Волна «цунами», являясь важной составляющей Бурейской оползневой системы, оставила после себя особенно яркие следы в самом оползневом узле, а также вверх и вниз по берегам Буреи и по её притокам (см. рисунки 8, А–Г и 5, Б). Она полностью сняла

растительный покров, почву, а местами и подстилающий её склоновый делювий (см. рис. 8, Б). На космоснимках и фото её след выражен светлым фототоном. В тыловой зоне «цунами» все деревья (в том числе достаточно крупные) были срезаны ею – от них остались лишь пни высотой не более 40 см (см. рис. 8, В). Верхняя граница (фронт) волны отмечена полосами из обломков стволов деревьев, выброшенных на берега Буреи и её притоков. Вверх по течению Буреи следы «цунами» прослежены на 7 км, вниз – на 4 км. Прилегающие к узлу правые притоки были также захвачены ею на расстоянии до 4 км. Максимально была проработана «цунами» часть оползневой узла на низком северном борту Буреи.

Высокий южный борт был также захвачен «цунами». Здесь высота её волны достигла максимума (не менее 60 м). Хорошо выраженный след она оставила на борту западной стенки оползневой цирка. На рис. 8, Г (также см. рисунки 6, А; 7, А и 8, Г) видно, что западная стенка срезала след цунами. Вместе с приведёнными выше данными по оползневой пластине и структуре «бульдозинга» это указывает на образование «цунами» *до появления Бурейского оползня*. Ситуация выглядит довольно непривычно – принято считать, что волна «цунами» помещается на фронт развития оползня. Это, в частности, иллюстрирует описание близкого по характеру канадского скального оползня, составленное в рамках традиционной модели [7]. Оползень, сошедший 4 декабря 2007 г. в провинции Британская Колумбия у границы с США, сопровождался там «цунами» высотой до 20 м. Формирование «цунами» до образования Бурейского оползня можно объяснить лишь *резким сжатием* русла Буреи под действием локального сдвигового импульса.

Основная часть взломанного «цунами» раннего льда и срезанных ею деревьев, унесённых вверх по течению Буреи, были затем снесены вниз более медленной *возвратной волной* (см. рис. 8, Д–Е). В русле Буреи они были сброшены у перемычки, в зоне около 4 км выше её, и сцементированы с поверхности более поздним льдом. По обоим бортам реки возвратная волна оставила следы в виде обломков сучьев, взломанного «цунами» *тонкого* льда толщиной около 20 см, а несколько выше их – водными заплесками, замёрзшими на проработанном «цунами» породном субстрате. Принесённый возвратной волной тонкий лёд характеризует состояние ледяного покрова реки до события. Ко времени проведения наблюдений толщина льда в русле Буреи в районе оползня достигла 0,5 м и более.

Время прохождения «цунами» вверх по течению Буреи при обычной для неё скорости распространения (100–200 м/сек.) – около 40 сек. Сход возвратной

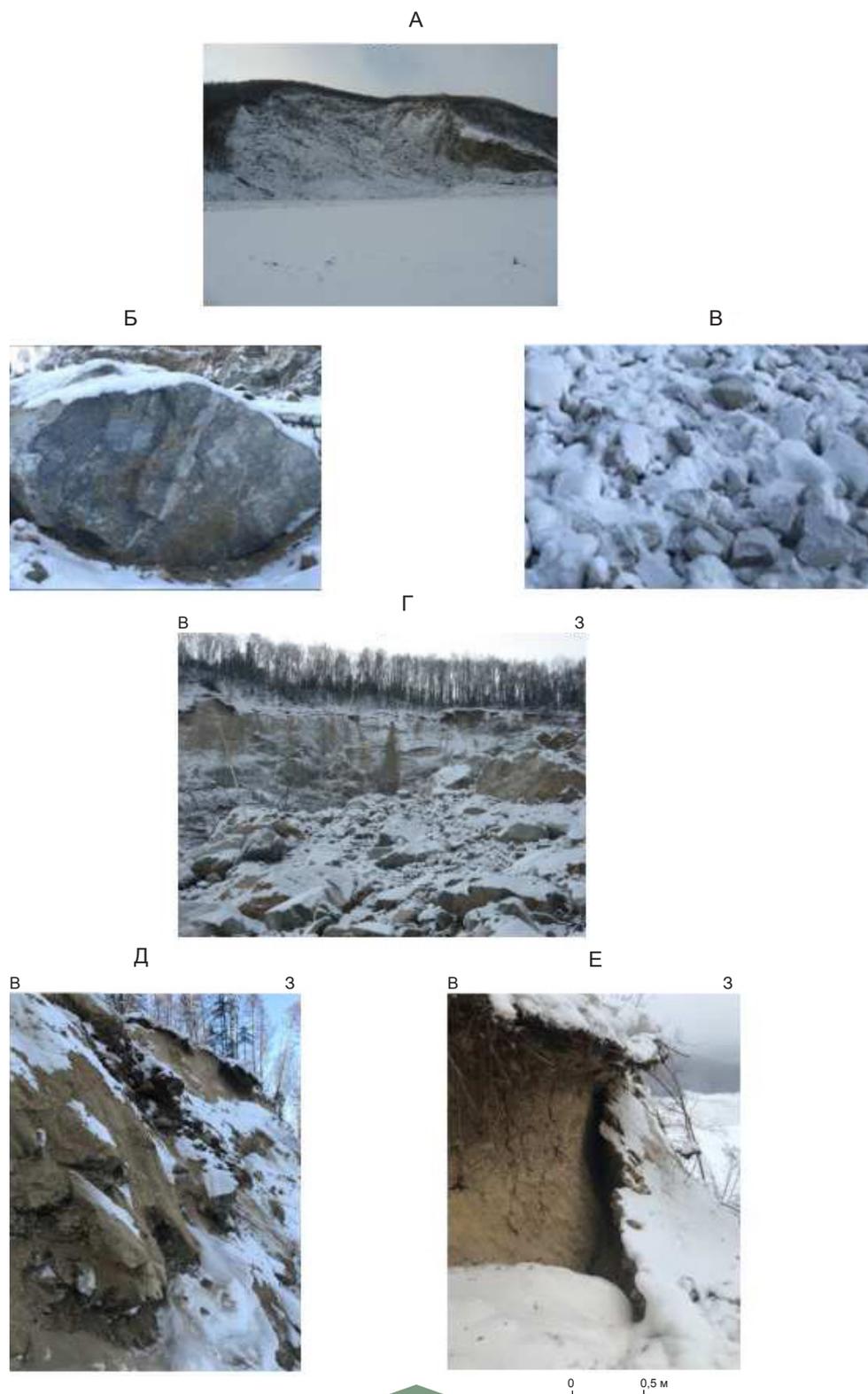


Рис. 6. Цирк оползня:

А – общий вид с северо-востока; Б–В – обломочный материал нижней части остаточного шлейфа оползня; Г – остаточный шлейф в центре цирка (на переднем плане) и тыловая зона оползня с фрагментами смещённого элювиально-делювиального плаща с реликтами лесного покрова (на заднем плане), на верхней границе цирка видны трещины отрыва оползня; Д–Е – трещины отрыва на верхней границе цирка; на плоскости трещин обнажены рыхлые элювиально-делювиальные осадки плейстоцена

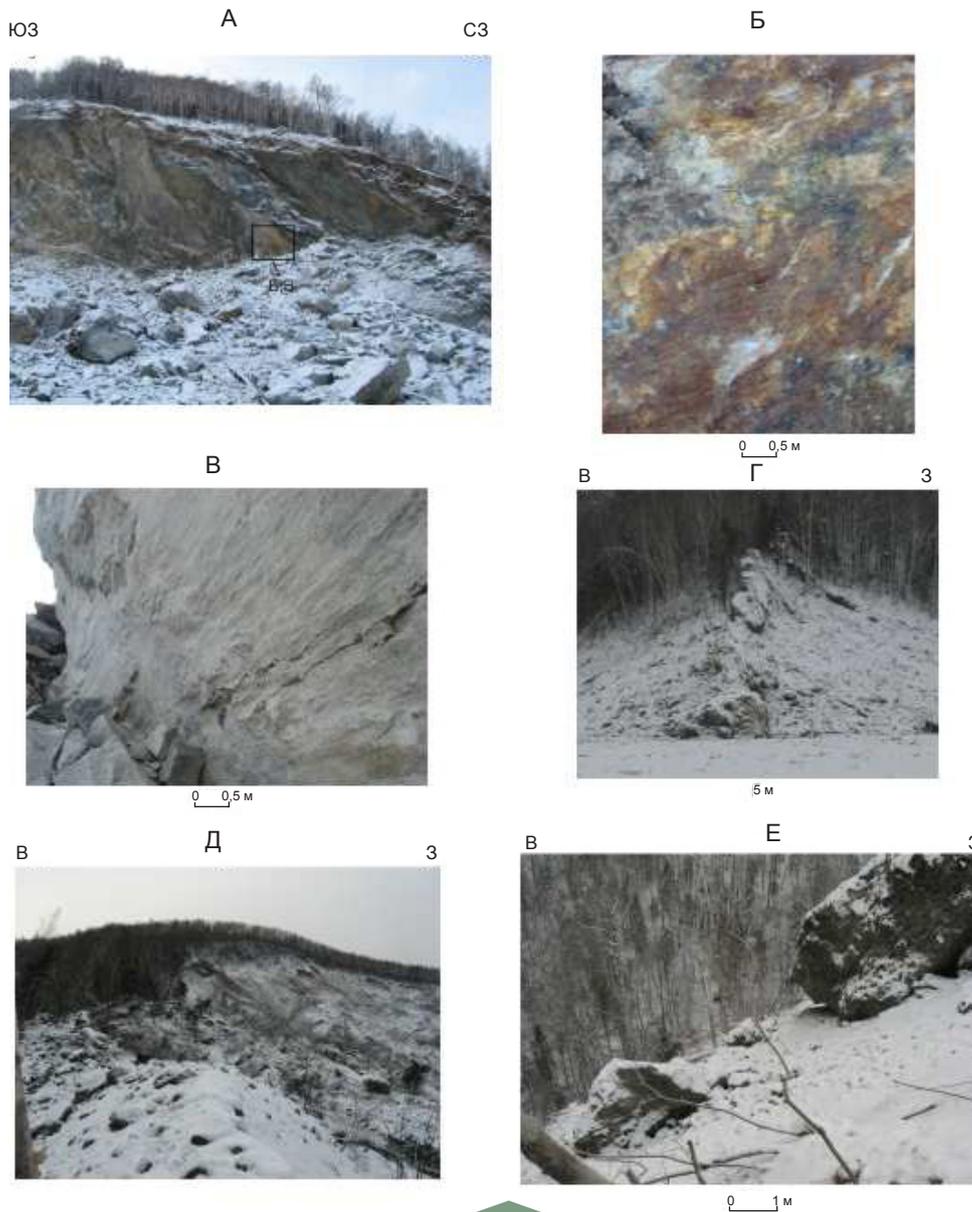


Рис. 7. Стенки отрыва основного тела оползня:

А–В – западная стенка: А – общий вид с северо-востока (видна срезанная стенкой чешуя надвиговой структуры), Б – фрагмент плоскости сдвига, наложенного на материнский субстрат оползня перед началом оползнеобразования (видны горизонтальные борозды на зеркале скольжения с растёртым лимонитом (бурое)), В – субвертикальные борозды скольжения – след отрыва оползневой тела; Г – северная часть дайки граносиенит-порфиров, контролирующей восточную стенку цирка; Д – деформированная оползнем дайка восточной стенки цирка в центральной его части; Е – глыбы мета-андезитов, выброшенные за границу восточной стенки

волны со скоростью примерно на порядок меньше укладывается в интервал 4–5 мин. Все события 12 декабря в оползневом узле ограничены таким образом этими рамками. С ними примерно совпадает и интервал прохождения двух упомянутых выше цугов поверхностных волн.

Тектоническая составляющая (см. рисунки 9 и 10). Именно специфика сдвиговой тектоники и

определила характер развития Бурейской оползневой системы. Выше уже были отмечены следы ранних (плейстоцен-голоценовых) сдвиг-надвиговых дислокаций субстрата оползня на его западной стенке, а также след импульсной активизации меридионального разлома, трассирующегося с этой стенки на север, по долине Среднего Сандара. Этот разлом, активизированный непосредственно перед сходом



Рис. 8. Следы «цунами» (А–Г) и возвратной волны (Д–Е) на Буреи:

А – левый борт Буреи выше перемычки, вид с северо-запада (на переднем плане лёд со следами возвратной волны); Б – срезанный «цунами» делювий на левом борту Буреи у границы с цирком; В – пни – остатки срезанного «цунами» леса на правом борту реки, севернее структуры «бульдозинга»; Г – фрагмент следа «цунами», срезанного западной стенкой оползня (на переднем плане открытая вода ниже перемычки – след температурной аномалии); Д–Е – следы возвратной волны выше перемычки; Д – вид с запада (на переднем плане вмороженные в лёд обломки раннего (тонкого) льда, за ними вмороженные в лёд обломки сучьев); Е – то же, вид с юга, на дальнем плане структура «бульдозинга»

оползня, хорошо выражен на снимке от 13 декабря (см. рис. 2, В). Однако его активизация началась несколько раньше, что обозначилось появлением на южном блоке двух восходящих источников, зафиксированных на космоснимке (см. рис. 9, А–Б). Эти источники, индикаторы активизации глубинного флюидопотока, последовательно образовались там

9 и 11 декабря. Они уверенно выделяются на космоснимках.

Следует обратить внимание на довольно необычную ситуацию, представленную на рис. 9, В–Г. Здесь на снимке от 6.12.2018 г. (см. рис. 9, Г) под ещё незамерзшей в то время частью Буреи отчётливо видны два блока, поднявшихся из её русла почти до выхода

на поверхность. На более раннем снимке от 1 декабря 2018 г. (см. рис. 9, В) они не были зафиксированы. Вертикальная амплитуда их взброса, зажатого в интервал менее 5 дней, составила несколько десятков метров. Это, пожалуй, первый прецедент современного, импульсного по сути взбросо-сдвига со столь значительной амплитудой. После появления двух этих блоков немного выше по течению реки на снимке от 9.12.2018 г. отмечено подпруживание двух небольших левых притоков Буреи с наращиванием ледового покрова к их верховьям.

Появление этих странных взброшенных блоков является результатом активизационных (сдвиговых) процессов, непосредственно подготовивших оползневое событие. Смещённая на северный борт Буреи крупная оползневая пластина использовала поднятый восточный блок с перекрывшей его маломощной перемычкой в качестве своеобразного «моста» (см. рис. 3, Г). Этим и объясняются горизонтальная ориентировка пластины и во многом ненарушенность её целостности.

Проведёнными после экспедиции взрывными работами была удалена, судя по всему, лишь рыхлая оползневая перемычка, залегавшая над взброшенным блоком южнее оползневой пластины. На фото (см. рис. 9, Д–Е) видно, что пластина с лесом и монолитный «мост» восточного блока под ней не были затронуты взрывами. Прежний баланс стока реки из-за этого не был восстановлен. Русло Буреи, нарушенное взброшенными блоками и оползневой пластиной, работает в настоящее время на сток лишь своей южной, суженной частью.

На северном блоке оползневого узла, у восточной границы зоны «бульдозинга» ярко выделяется линейная *субмеридиональная структура тектонического рва*, шириной около 9 м (см. рис. 10, А). К северу от русла Буреи она прослеживается до водораздела на расстояние более 100 м. В этом направлении ров постепенно маскируется структурой «бульдозинга». Вверх по полотну рва, с выходом на его склоны, обломками тонкого льда прослеживается след зашедшей в него возвратной волны (см. рис. 10, Б). Полотно рва сложено в основном свежими мета-андезитами, дезинтегрированными до глыб размером до первых метров. Некоторые из них, как и на оползневом цирке, несут следы гранитизации.

Вверх по склону в полотне наращивается количество глыб выветрелых и деформированных (до брекчий) разностей. Западный борт рва, вскрывший структуру «бульдозинга», целиком сложен глыбами мета-андезитов и даек дацитового состава – выветрелых и деформированных (до брекчий). Встречаются здесь также и глыбы рыхлых, лимонитизированных пролювиальных галечников. На восточном

борту рва, в его южной части, вскрыт коренной выход коры выветривания мета-андезитов – глинизированной, проработанной лимонитом и деформированной плейстоцен-голоценовой тектоникой (см. рис. 10, В).

В 20–30 м за восточной стенкой рва, в привершинной части пологого водораздела с выровненной, проработанной «цунами» поверхностью лежат три глыбы размером до 5 м (см. рис. 10, Г). Слагающие эти глыбы мета-андезиты выветрелые и дроблёные. Одна из глыб (см. рис. 10, Д) «опирается» на пень, а на её боковой поверхности и на вершине лежат вмороженные в лёд обломки сучьев. Некоторые открытые трещины в глыбе также залечены льдом. Пень под глыбой – это, несомненно, след «цунами». А лежащие на ней обломки сучьев и лёд по трещинам – следы возвратной волны. Судя по всему, эти глыбы были выброшены из структуры рва в момент его образования. Причём выброшены они были уже после прохода «цунами» и после формирования структуры «бульдозинга» (или близко к ней по времени), но до возвратной волны.

Природа этого рва, по-видимому, *тектоническая*, поскольку подобные ему по морфологии и размерам сейсмодислокации, изучением которых автор занимается уже почти 20 лет, сопровождают достаточно мощные землетрясения, хорошо выраженные в фиксируемом сейсмостанциями волновом поле. А в пределах Бурейского узла и на его периферии землетрясений во время события, как упоминалось, не было отмечено. Структура контролирующего ров разлома трассируется к югу, на восточную стенку оползневого цирка (см. рис. 6, А).

Развитие Бурейского оползнеобразования было отмечено на сейсмостанциях лишь двумя цугами малоинтенсивных поверхностных волн (см. рис. 1, Б). Первый, наиболее выраженный цуг, характеризующий развитие основной части оползневой системы, зажат примерно в минуту. Он отличается сложным строением. Его левая часть может соответствовать сдвиговому импульсу по меридиональным разломам, сопровождавшемуся резким сжатием бурейского русла с образованием «цунами». Центральная и правая части в таком случае соответствуют дополнительной импульсной активизации разломов, вызвавшей дезинтеграцию скального оползневого субстрата и выброс оползневого материала. Второй, самый невысокий по интенсивности цуг, оторванный от первого на 4 мин. 25 сек., можно привязать к моменту встречи фронта возвратной волны с оползневой перемычкой.

Отмеченная Л.С.Крамаревой с соавторами температурная аномалия [7], появившаяся во время оползнеобразования, является дополнительным индикатором

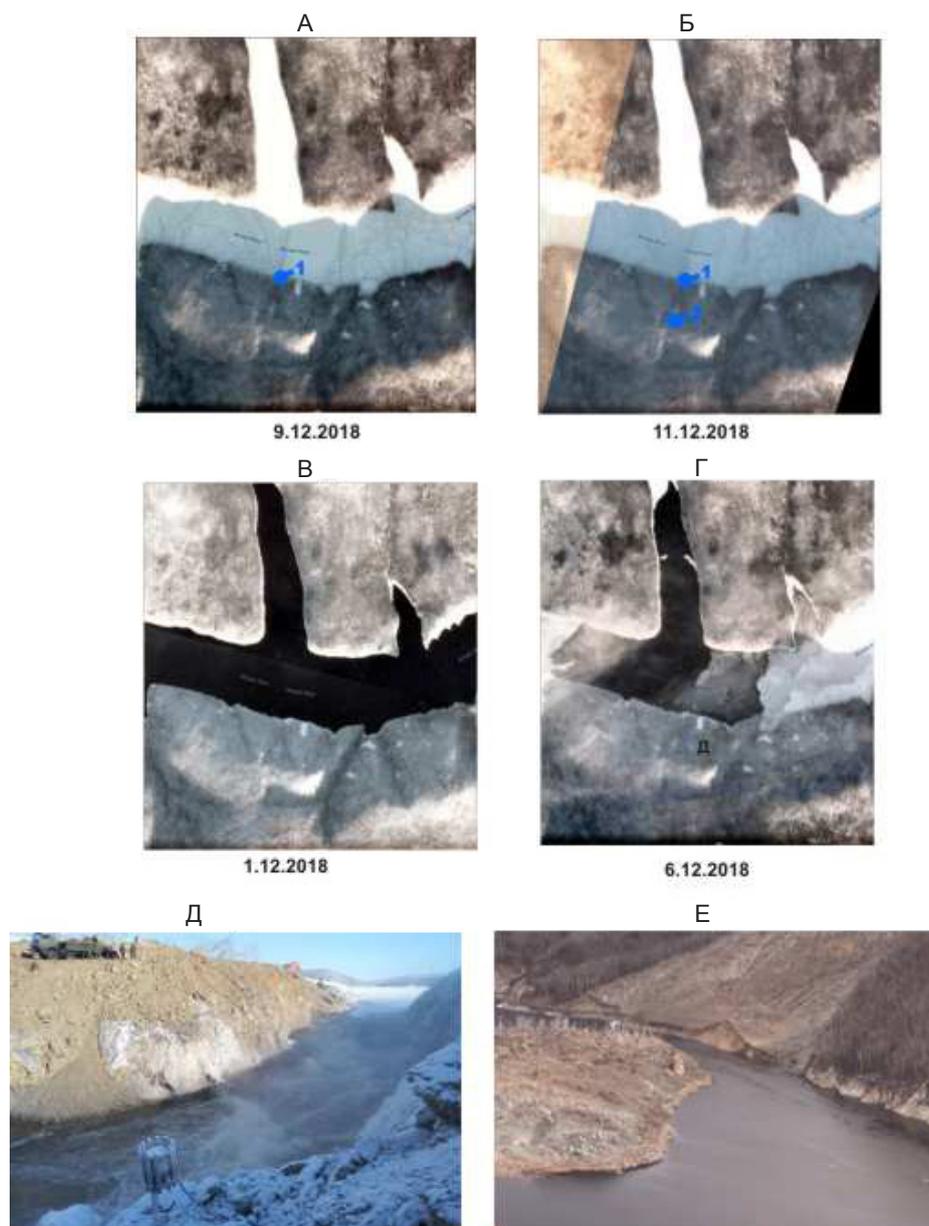


Рис. 9. Следы импульсной активизации разломов Бурейского узла:

А–Б – активизация разлома у западной стенки оползневой структуры, выраженная появлением в нём восходящих источников 9–11.12.2018 г. (1, 2), <https://www.planet.com/explorer/>; В–Г – «всплывшие» в русле Буреи блоки, 1–6.12.2018 г., <https://www.planet.com/explorer/>; Д–Е – ситуация русла Буреи после взрыва перемычки (Д – зима, Е – лето), на северном борту видна не затронутая взрывом пластина с лесом, <https://yandex.ru/images/search>

тором активизации контролирующей его сдвиговой системы. Она вполне соответствует высокой энергетике этой активизации. Следы этой аномалии сохранились и через месяц после события, во время проведения экспедиции. В русле ниже перемычки, на пересечении со структурой меридионального разлома, контролирующего западную стенку оползня (см. рис. 8, Г) виден крупный участок открытой воды. Неболь-

шая промоина сохранилась во время наблюдений и вдоль северного борта реки под структурой «бульдозинга» и выше перемычки (см. рис. 5, Д).

Заключение. Приведённые здесь результаты изучения Бурейской оползневой системы обозначили её весьма сложноорганизованный характер с определяющим влиянием импульсной сдвиговой тектоники на подготовку и ход оползнеобразования.

Структура оползневого узла во время полевых наблюдений представляла собой весьма сложную, интерферируемую картину. Тем не менее, сформировавшие её процессы оставили после себя достаточно выраженные, уверенно идентифицируемые следы. Анализ взаимосвязей этих следов позволил наметить следующую последовательность развития Бурейского оползня:

1. Подготовительная стадия с заложением структуры оползневого узла. Формирование контролирующего этот узел Бурейского разлома и осложняющих его разломов преимущественно меридиональной ориентировки. Взброс южного блока и образование в нём сдвиг-надвиговой структуры с высоким уровнем напряжённо-деформированного состояния. Вероятнее всего, время подготовки – ранний голоцен.

2. Сравнительно медленный импульс активизации сдвиговой системы оползневого узла с взбросом двух блоков в русле Буреи. Активизация глубинного флюидопотока с появлением восходящих источников в меридиональном разломе, контролирующего далее образование западной стенки оползневого цирка. Время проявления 6–11 декабря.

3. Локальный сдвиговый импульс по субмеридиональным нарушениям, сопровождающийся резким сжатием бурейского русла; образование волны «цунами». Данная стадия отмечена входом первого цуга поверхностных волн. 12 декабря.

4. Дополнительная импульсная активизация сдвиговой системы Бурейского узла с дезинтеграцией оползневого субстрата, взрывной выброс оползневого материала к востоку и северу с заполнением русла. Время +40 сек. по отношению к стадии 3

5. Несколько более медленный сдвиговый импульс с выбросом оползневой пластины на северный борт Буреи. Образование структуры «бульдозинга» и тектонического рва. Время +10 сек. по отношению к стадии 4.

6. Исход возвратной волны +4–5 мин. по отношению к стадии 5.

Принципиально важным результатом исследований, проведённых на Бурейском оползневом узле, является то, что здесь впервые установлены *проявления голоценовых и современных импульсных сдвиговых деформаций со столь значительной амплитудой*. Для тектоники и геодинамики голоцена это пока единственный прецедент. По мнению автора, выявленные здесь, зажатые во времени сдвиговые деформации являются проявлением *резонанса знакопеременно-сдвиговой (волновой) системы контролирующей этот узел разломов*. Резонансные эффекты характерны для всех волновых процессов. Они довольно хорошо изучены для систем техногенного класса с их жёсткими количественными парамет-

рами. Но исследования резонансов значительно более медленных волновых геологических процессов находятся пока ещё в самой начальной стадии.

Неясной остаётся крайне слабая выраженность в фиксируемом сейсмостанциями волновом поле энергоёмких импульсных процессов, инициирующих и сопровождающих развитие Бурейского оползня. Информации для ответа на этот вопрос пока явно недостаточно.

Выводы:

- Предложен вариант эволюционной модели Бурейского оползня, основанной на выделении и анализе следов различных процессов. В этой модели его сложноорганизованная, «мгновенно» развивающаяся система развёрнута во времени.

- Выделен основной энергетический источник оползневой системы – импульсная активизация сдвиговой тектоники, сопровождавшаяся резким наращиванием сжатия в оползневом узле.

- В результате этой активизации напряжённо-деформированное состояние южного оползневого блока было доведено до критического уровня с дезинтеграцией оползневого субстрата и выбросом оползневого материала в русло и на северный борт Буреи.

- Установлено, что бурейская «цунами» оторвана во времени от оползня: она прошла до его «схода».

- Русло Буреи под влиянием импульсной активизации сдвиговой тектоники с появлением «всплывших блоков» и последующим смещением оползневой пластины осталось перекрытым более чем наполовину и после взрыва оползневой перемычки.

- Активизация сдвиговой системы оползневого узла является индикатором современной активности разлома, в которое вложено русло Буреи на участке пересечения им жёсткого Мельгинского блока. Соответственно, и на других участках этого разлома, на высоких бортах с крутыми склонами, возможно появление оползневых узлов, подобных Бурейскому.

- Бурейский оползневый узел является уникальным полигоном для изучения сложноорганизованной активизации современных активных разломов.

- Предложенная модель Бурейской оползневой системы выглядит нетрадиционной и сложной из-за используемого автором междисциплинарного подхода к исследованию и во многом из-за того, что в оползневедении сформировался устойчивый стереотип «не замечать» тектонические (и сейсмогенные) деформационные процессы, инициирующие оползни.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН при частичном финансировании программой «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития Дальневосточного отделения РАН» (проект 18-5-024).

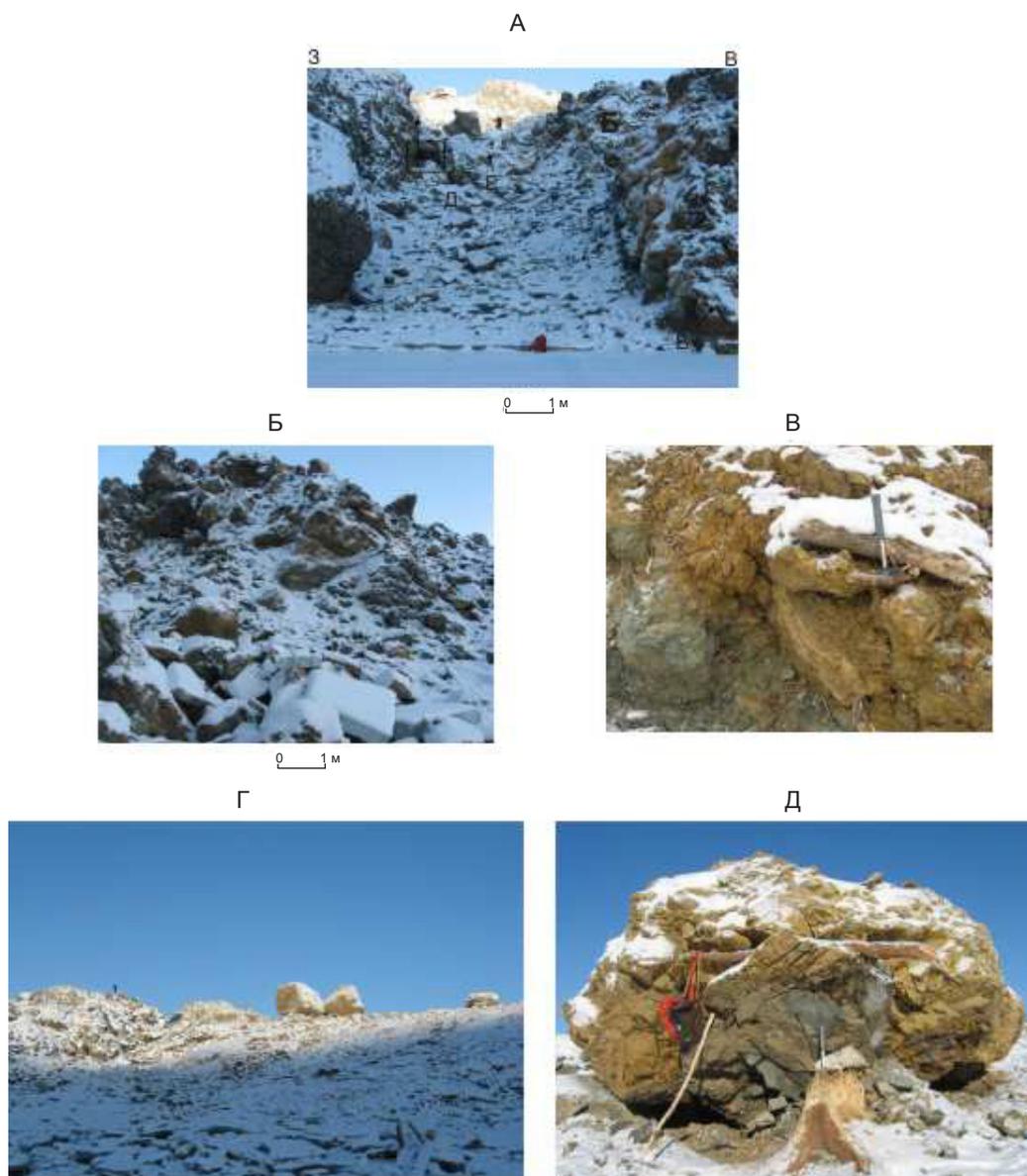


Рис. 10. Структура тектонического рва:

А – общий вид с юга; Б – восточный борт в центре рва (на переднем плане видны обломки тонкого раннего льда – след возвратной волны); В – деформированная кора выветривания мета-андезитов на восточном борту рва, в его южной части (вид с юго-запада); Г – глыбы выветрелых, дроблёных мета-андезитов на восточной стенке рва; Д – восточная (правая на Г) глыба со следами возвратной волны

Автор выражает благодарность заместителю директора по науке ИВЭП ДВО РАН, доктору географических наук А.Н.Махинову и другим сотрудникам этого института, принимавшим участие в экспедиции, за доверительность и взаимопонимание. Автор

благодарит сотрудницу лаборатории «Сейсмологии и сеймотектоники» ИГиГ Н.В.Сатонину за подготовку электронных версий рисунков. Особая благодарность ВРИО директора ИГиГ ДВО РАН В.Г.Быкову за поддержку исследований по Бурейскому оползню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В.И.* Геологическая карта СССР. Масштаб 1: 200 000. Серия Хингано-Буреинская. М-52-ХVIII // Под ред. С.А.Музылева. – Хабаровск: Дальневосточное геологическое управление, 1959.
2. *Кокочкин А.А.* Геодинамическая модель кайнозойского этапа развития континентальной коры юга Дальнего Востока России и уран-полиэлементное рудообразование // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М.: РИС ВИМС, 2007. – 50 с.; <http://vak.ed.gov.ru/announcements/geomin/573/>. <http://www.dissertcat.com/>.
3. *Кокочкин А.А.* Особенности новейшего этапа развития зоны Инкоу-Хинганского разлома // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 68. – С. 42–51.
4. *Кокочкин А.А.* Специфика оползнеобразования на рыхлом и скальном субстрате: на примерах оползней Среднего Поволжья и Бурейского оползня // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии. X Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции с международным участием, 10–12 сентября 2012 г. / Отв. ред. А.Н.Диденко, Ю.Ф.Манилов. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН, 2019. – С. 278–280.
5. *Кокочкин А.А.* Эволюция новейшей окраинно-континентальной структуры Намибии и структура-антипод Востока Азии. Опыт междисциплинарного исследования на синергетической основе. – Саратов: Приволжская книжная палата, 2014. – 188с.
6. *Кокочкин А.А., Иванов А.В., Тюленева В.М., Яшков И.А.* Тектоника, сейсмоструктура и гидротермальный метасоматоз в новейшей структуре Волжского (Саратовско-Камышинского) Правобережья: новые данные // Отечественная геология. – 2018. – № 6. – С. 51–66.
7. *Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Амельченко Ю.А.* и др. Наблюдение зоны обрушения сопки в районе реки Бурея 11 декабря 2018 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15. – № 7. – С. 266–271.
8. *Мартынюк М.В.* Геологическая карта бассейна р. Талой. Масштаб 1:50 000. – Хабаровск: Дальневосточное территориальное геологическое управление, 1974.
9. *Jiajia Wang, Steven N. Ward and Lili Xiao* // Geophysical journal. – 2015. Vol. 201. P. 372–376.
10. <http://www.wdcb.ru/sep/seismology/seismology.ru.html>

REFERENCES

1. *Vasil'yev V.I.* Geologicheskaya karta SSSR. Mashtab 1:200 000. Seriya Khingano-Bureinskaya. M-52-XVIII [Geological map of the USSR. Scale 1: 200,000. Khingano-Bureinskaya series. M-52-XVIII]. Pod red. S.A.Muzyleva. Khabarovsk, Dal'nevostochnoye geologicheskoye upravleniye publ. 1959.
2. *Kokovkin A.A.* Geodinamicheskaya model' kaynozoyского etapa razvitiya kontinental'noy kory yuga Dal'nego Vostoka Rossii i uran-polielementnoye rudoobrazovaniye [Geodynamic model of the Cenozoic stage in the development of the continental crust of the south of the Russian Far East and uranium-polyelement ore formation]. Avtoref. dis. ... d-ra geol.-miner. nauk. Moscow, RIS VIMS publ., 2007. 50 p.
3. *Kokovkin A.A.* Osobennosti noveyshego etapa razvitiya zony Inkou-Khinganskogo razloma [Features of the latest stage of development of the Yingkou-Khingan fault zone]. Regional'naya geologiya i metallogeniya. 2016. No. 68. P. 42–51.
4. *Kokovkin A.A.* Spetsifika opolzneobrazovaniya na rykhлом i skal'nom substrate: na primerakh opolzney Srednego Povolzh'ya i Bureyskogo opolznia [Specificity of landslide formation on a loose and rocky substrate: examples of landslides in the Middle Volga region and Bureya landslide]. Tektonika, glubinnoye stroyeniye i minerageniya Vostoka Azii. KH Kosygin'skiye chteniya: materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, 10–12 sentyabrya 2012 g. / Otv. red. A.N.Didenko, YU.F.Manilov. Khabarovsk, ITiG im. Yu.A.Kosygina DVO RAN publ. 2019. P. 278–280.
5. *Kokovkin A.A.* Evolyutsiya noveyshey okrainno-kontinental'noy struktury Namibii i struktura-antipod Vostoka Azii. Opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya na sinergeticheskoy osnove [Evolution of the newest continental-marginal structure of Namibia and the antipode structure of East Asia. Experience in interdisciplinary research on a synergistic basis]. Saratov, Privolzhskaya knizhnaya palata publ. 2014. 188 p.
6. *Kokovkin A.A., Ivanov A.V., Tyuleneva V.M., Yashkov I.A.* Tektonika, seysmotektonika i gidrotermal'nyy metasomatоз v noveyshey strukture Volzhskogo (Saratovsko-Kamyshinskogo) Pravoberezh'ya: novyye dannyye [Tectonics, seismotectonics and hydrothermal metasomatism in the newest structure of the Volga (Saratov-Kamyshinsky) Right Bank: new data]. Otechestvennaya geologiya. 2018. No. 6. P. 51–66.
7. *Kramareva L.S., Lupyan Ye.A., Amel'chenko Yu.A.* et al. Nablyudeniye zony obrusheniya sopki v rayone reki Bureya 11 dekabrya 2018 goda [Observation of the collapse zone of the hill in the area of the Bureya river on December 11, 2018]. Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. V. 15. No. 7. P. 266–271.
8. *Martynuk M.V.* Geologicheskaya karta basseyna r. Taloy. Mashtab 1:50 000 [Geological map of the river basin Thawed. Scale 1:50 000]. Khabarovsk, Dal'nevostochnoye territorial'noye geologicheskoye upravleniye publ. 1974.
9. *Jiajia Wang, Steven N. Ward and Lili Xiao.* Geophysical journal. 2015. Vol. 201. P. 372–376.
10. <http://www.wdcb.ru/sep/seismology/seismology.ru.html>

Ювелирно-поделочные аммониты из отложений готерива Ульяновской области: минеральный состав, геммологические характеристики

Д.А.ПЕТРОЧЕНКОВ (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (ФГБОУ ВО МГРИ–РГГРУ); 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23)

На российский и мировой рынки поступают значительные объёмы изделий из аммонитов ювелирно-поделочного качества Ульяновской области. Аммониты связаны с отложениями готерива нижнего мела и состоят преимущественно из арагонита, кальцита и пирита. Стенки и перегородки раковин аммонитов сохранили исходный арагонитовый состав. Установлены также включения апатита, альгодонита, пиролюзита, гематита, гётита, кварца, ферригидрита, магнетита, оксида урана, вернадита, тодорокита, монацита, галлуазита, плагиоклаза, каолинита, глауконита, доломита, графита и органического вещества. Важную роль в образовании новых минеральных видов играли бактерии. Минерализация неразрушенных камер аммонита осуществлялась последовательным образованием слоёв кальцита, пирита без метасоматических замещений. Цвет слоёв кальцита определяется содержаниями Mn и Fe. Аммониты характеризуются высокой декоративностью и хорошими технологическими характеристиками, могут добываться в береговых обрывах и зоне пляжа р. Волга без горных выработок, не нарушая экологию.

Ключевые слова: аммонит, Ульяновская область, готеривский ярус, кальцит, пирит, арагонит, ювелирно-поделочные камни.

Петроченков Дмитрий Александрович
кандидат геолого-минералогических наук



p-d-a@mail.ru

Jewelry and ornamental ammonites from the deposits of the Hauterivian stage of the Ulyanovsk Region: Mineral composition, gemological characteristics

D.A.PETROCHENKOV (Russian State Geological Prospecting University (MGPI–RSGPU))

Significant volumes of products from ammonites of jewelry and ornamental quality of the Ulyanovsk region are entering the Russian and world markets. Ammonites are associated with the Lower Cretaceous Hauterivian deposits and consist mainly of aragonite, calcite and pyrite. The walls and partitions of the ammonite shells retained the original aragonite composition. Also established inclusions of apatite, algodonite, pyrolusite, hematite, goethite, quartz, ferrihydrite, magnetite, uranium oxide, vernadite, todorokite, monazite, halloysite, plagioclase, kaolinite, glauconite, dolomite, graphite and organic matter. An important role in the formation of new mineral species was played by bacteria. Mineralization of undamaged ammonite chambers was carried out by the sequential formation of calcite and pyrite layers without metasomatic substitutions. The color of calcite layers is determined by the contents of Mn and Fe. Ammonites are characterized by high decorativeness and good technological characteristics; they can be mined in the coastal cliffs and the beach area of the river Volga without mining, without violating the environment.

Key words: ammonite, Ulyanovsk region, Hauterivian stage, calcite, pyrite, aragonite, jewelry and ornamental stones.

На мировом рынке широко представлены интерьерные аммониты, а также ювелирные и сувенирные изделия из них [7]. Основными поставщиками аммонитов на мировой рынок являются Мадагаскар [12, 13], Марокко [9], Канада [10, 11]. В Российской Федерации известны аммониты интерьерного и ювелирно-поделочного качества из Ульяновской, Рязанской, Саратовской областей, севера Красноярского края, республик Дагестан и Адыгея [3, 5–7]. Основной объём аммонитов добывается из отложений готеривского яруса нижнего мела в окрестностях г. Ульяновск на правом берегу р. Волга.

Готеривский ярус представлен верхним подъярусом, разделённым на три зоны [1, 2, 4].

Нижняя зона (*Speetonicerias versicolor*) мощностью 18–20 м сложена тёмно-серыми, местами почти чёрными плотными глинами с конкрециями мергеля. Глины, как правило, сильно загипсованы. Остатки аммонитов обнаружены как в конкрециях,

так и в глинах. Встречаются два рода аммонитов: *Speetonicerias* и *Simbirskites* (рис. 1, А, Б).

Средняя зона (*Milanowskia speetonensis*) представлена маломощными (3–4 м) тёмно-серыми глинами с карбонатными конкрециями, реже – септариями. Комплекс аммонитов более разнообразный: *Milanowskia*, *Craspedodiscus*, *Simbirskites* (см. рис. 1, Б–Г).

Верхняя зона (*Craspedodiscus discofalcatus*) сложена также тёмно-серыми, но более плотными глинами, при выветривании распадающимися на угловатые обломки с раковистым изломом. В верхней части разреза расположен горизонт песчанистых глин мощностью 0,5 м с прослоями гравия, фосфатов и обугленной древесины. В отложениях встречаются анкерит-кальцит-сидеритовые конкреции. Мощность зоны около 20 м. Аммониты относятся к родам *Simbirskites* и *Craspedodiscus* (см. рис. 1, Б, В).



Рис. 1. Аммониты родов: *Speetonicerias* (А), *Simbirskites* (Б), *Craspedodiscus* (В) и *Milanowskia* (Г)

Аммониты ювелирно-поделочного качества встречаются только в известковистых конкрециях, а аммониты, раздавленные, пиритизированные, не представляющие интереса в качестве ювелирно-поделочного материала, расположены непосредственно в глинах.

Конкреции с аммонитами часто имеют уплощённую форму. Их фрагменты иногда видны на дневной поверхности, что существенно облегчает поиск. Собирают конкреции с аммонитами в осыпях береговых обрывов и зоне пляжа на достаточно протяжённом (около 8 км) участке от п. Новая Беденьга до п. Поливно. Специализированные поисковые и оценочные работы на объекте не проводились, поэтому установить точную стратиграфическую привязку найденных аммонитов не представляется возможным. Предположительно аммониты ювелирно-поделочного качества связаны с нижней зоной. Горные выработки при поисках аммонитов не применяются, что существенно снижает материальные затраты и не нарушает экологию.

Методы исследований. Комплекс исследований аммонитов проводился на кафедре минералогии и геммологии ФГБОУ ВО РГГРУ, в ФГБУ «ВИМС» и ФГБУН ИГЕМ (РАН) и включал в себя определение плотности, микротвёрдости, люминесценции, количественное определение химического и минерального составов, оптико-петрографические, электронно-зондовые и электронно-микроскопические исследования.

Количественное определение химического состава аммонитов выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА). Минеральный состав установлен рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на установке «X'Pert PRO». Микротвёрдость определялась на микротвердометре «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и экспозицией 15 сек для арагонита, кальцита, мергеля и массой 100 г и экспозицией 15 сек для пирита. Плотность образцов исследовалась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Erickhorst» с $\lambda=254$ и 365 нм. Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратно-рассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Электронно-микроскопическое изучение образцов проведено на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «Tesla BS-301», оснащённом энергодисперсионным спектрометром, позволяющим определить элементный

состав от Mg до U, а также на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) «Tesla BS-540». Диагностика минеральных фаз проводилась по микродифракционным картинам (МДК).

Обсуждение результатов. В аммонитах ювелирно-поделочного качества отчётливо проявлены структурные элементы раковин: стенки и перегородки, жилые и разрушенные камеры, выполненные мергелем, и неразрушенные газовые камеры, выполненные кальцитом и пиритом. По данным РКФА, основными минералами, образующими раковину аммонитов, являются (в масс.%): кальцит – 68–85, пирит – 10–30, арагонит – 5–10. Перламутровый слой внешней стенки аммонита состоит из (в масс.%): арагонита – 78, кальцита – 6, доломита – 1, пирита – 12, гематита – 3. Неразрушенные газовые камеры сложены (в масс.%): кальцитом – 84, пиритом – 6, арагонитом – 9, шабазитом – 1. В мергеле, выполняющем жилые и разрушенные камеры, фиксируются (в масс.%): кальцит – 78, гидрослюда – 9, кварц – 4, пирит – 5, плагиоклаз – 3, калиевый полевой шпат – 1, каолинит и рентгеноаморфная фаза (РАФ) – следы. Аморфная фаза, в которой обнаружен углерод, связана с органическим веществом. Минеральный состав указывает на высокую степень сохранности арагонита стенок и перегородок аммонита. Из элементов-примесей в аммоните зафиксированы повышенные содержания в среднем (в масс.%): Sr – 0,080 и Ba – 0,009.

Анализ большого количества аммонитов показал, что их минеральный состав может существенно меняться, но основными минералами, выполняющими раковины, остаются кальцит и пирит. Исходный арагонит стенок и перегородок сохраняется, что позволяет выделить аммониты ювелирно-поделочного качества из отложений готерива в кальцит-пиритовый минеральный тип [6]. В отложениях готерива локальных зон встречается небольшое число аммонитов, в которых наряду с кальцитом и пиритом в значительных количествах присутствует гипс. Размер его кристаллов достигает 10 мм. Гипс обладает низкой твёрдостью и совершенной спайностью, которая не позволяет использовать такие аммониты в качестве ювелирно-поделочного материала, в связи с чем они в данной статье не рассматриваются.

Стенки и перегородки раковин бесцветные или светло-серого цвета с перламутровым или стеклянным блеском, слабопросвечивающие. Плотность – 2,70–2,75 г/см³, микротвёрдость в среднем составляет 195 кг/мм². Люминесценция не наблюдается.

Кальцит, выполняющий камеры аммонитов, коричневого, оранжевого, жёлтого, белого и серого цветов различных оттенков и насыщенности. Текстура заполнения блочно-мозаичная, сферолитовая,

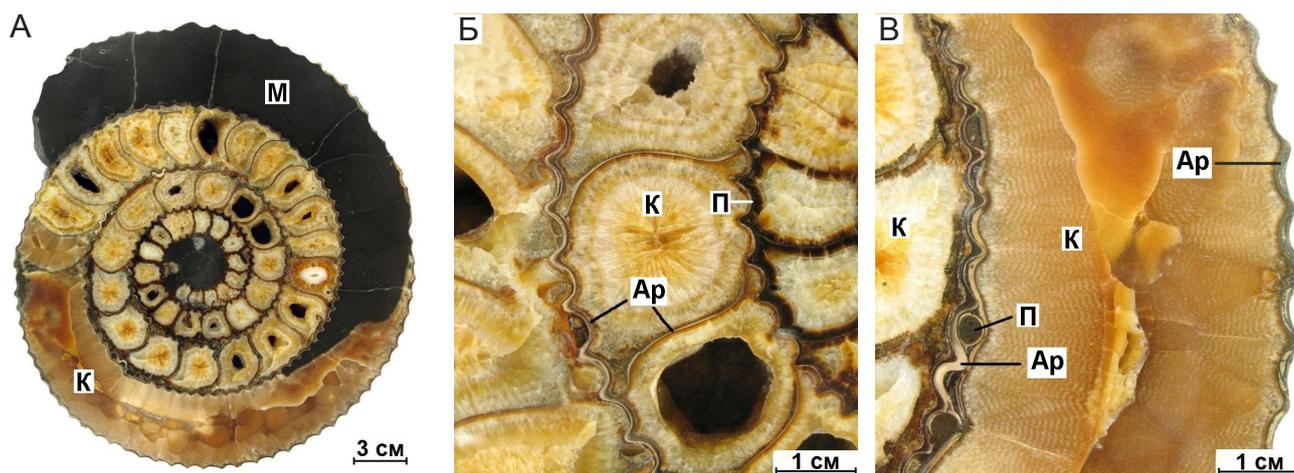


Рис. 2. Аммонит рода *Speetonicerias* (А); фрагменты детализации (Б–В):

М – мергель; К – кальцит; Ар – арагонит; П – пирит

массивная (рис. 2). Цвет кальцита и текстурные особенности заполнения могут существенно меняться даже в соседних камерах. На отдельных участках перегородки камер бывают разрушены, и их фрагменты хаотически распределены внутри неё, образуя брекчиевую текстуру. Часто камеры заполнены кальцитом частично, иногда он полностью отсутствует (см. рис. 2, А, Б). Слои кальцита тёмно-коричневого цвета – непрозрачные, а оранжевого и жёлтого цветов – полупрозрачные. Плотность кальцитовых агрегатов – 2,65–2,75 г/см³, что в среднем соответствует плотности кристаллов кальцита. Микротвёрдость кальцита составляет 235–301 кг/мм², что несколько выше микротвёрдости арагонита. Корич-

невые, реже светло-жёлтые слои кальцита люминесцируют при $\lambda=254$ нм зеленоватым, иногда голубоватым цветом, при $\lambda=365$ нм свечение проявлено ярче.

Пирит образует слои шириной от 0,5 до 5 мм, располагающиеся, как правило, параллельно и на некотором удалении от стенок и перегородок. Широкие пиритовые слои характерны для внешних стенок раковин. Пирит на внешней поверхности раковин аммонитов, а также на стенках камер, когда отсутствует кальцит, образует сростки и агрегаты мелких кристаллов различной формы (рис. 3). Кристаллы пирита могут покрывать поверхность камер частично (см. рис. 3, А) или полностью (см. рис. 3, Б, В). Размер

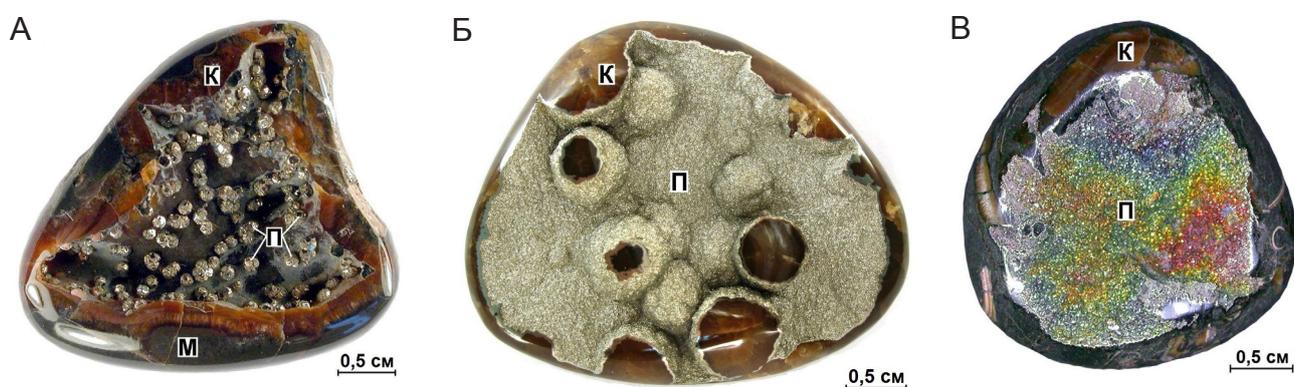


Рис. 3. Кабошоны из фрагментов камер аммонитов с различными формами и окраской кристаллов пирита:

К – кальцит; П – пирит; М – мергель

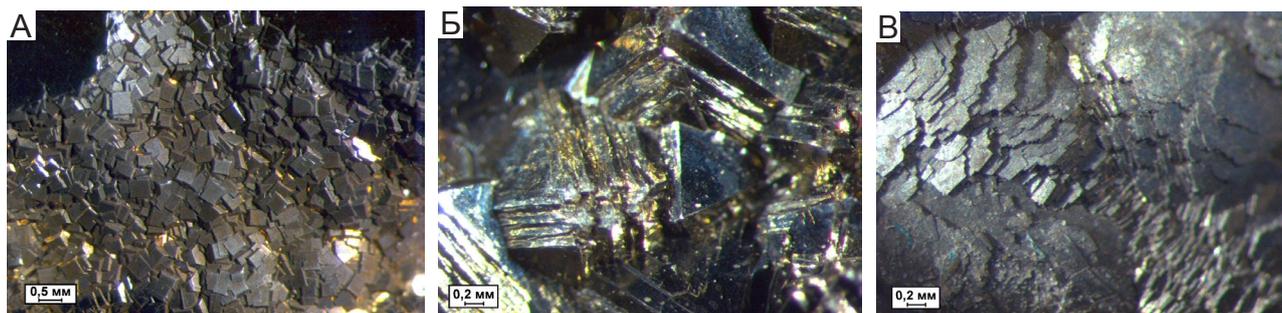


Рис. 4. Кубическая (А), октаэдрическая (Б), пластинчатая (В) формы кристаллов пирита

кристаллов от 0,1 до 1 мм. Наиболее часто встречается пирит кубического габитуса (рис. 4, А), реже октаэдрического, как правило, не чётко выраженного (см. рис. 4, Б, В). Иногда наблюдаются сложные почковидные образования, сочетающие кубическую и октаэдрическую формы кристаллов.

Цвет кристаллов пирита жёлтый, светло-жёлтый с металлическим блеском (см. рис. 3, А, Б). Кристаллы, покрытые оксидными плёнками, имеют бурый, серый, серо-коричневый цвета и матовый блеск. В редких случаях пирит, выполняющий стенки камер, красного, жёлтого, зелёного, голубого и фиолетового цветов, обусловленных интерференционной окраской полиминеральных плёнок на поверхности кристаллов (см. рис. 3, В). Распределение цвета зонально-пятнистое. Плотность пиритовых агрегатов составляет 4,5–4,8 г/см³, что несколько ниже, чем в кристаллах. Микротвёрдость от 824 до 1290 кг/мм², преимущественно от 1150 до 1200 кг/мм². Люминесценция пиритовых прожилков не наблюдается.

Мергель, выполняющий жилые и разрушенные камеры, плотный (разламывается с трудом), с раковистым изломом. Цвет серый, тёмно-серый, иногда чёрный. Средняя плотность составляет 2,85 г/см³. Микротвёрдость от 187 до 201 кг/мм². Мергель не люминесцирует. Раковины, выполненные мергелем полностью, как ювелирно-поделочный материал интереса не представляют.

Арагонит преимущественно хорошо сохранился и содержит незначительное количество пор (см. рисунки 5 и 6, А). Отдельные фрагменты арагонитовых слоёв частично разрушены и содержат большое количество трещин и пор (см. рис. 5, Б, В). В них фиксируется пирит как в виде хорошо оформленных кристаллов кубического габитуса, так и сростков дисперсных кристаллов глобулярной формы (см. рис. 6, Б).

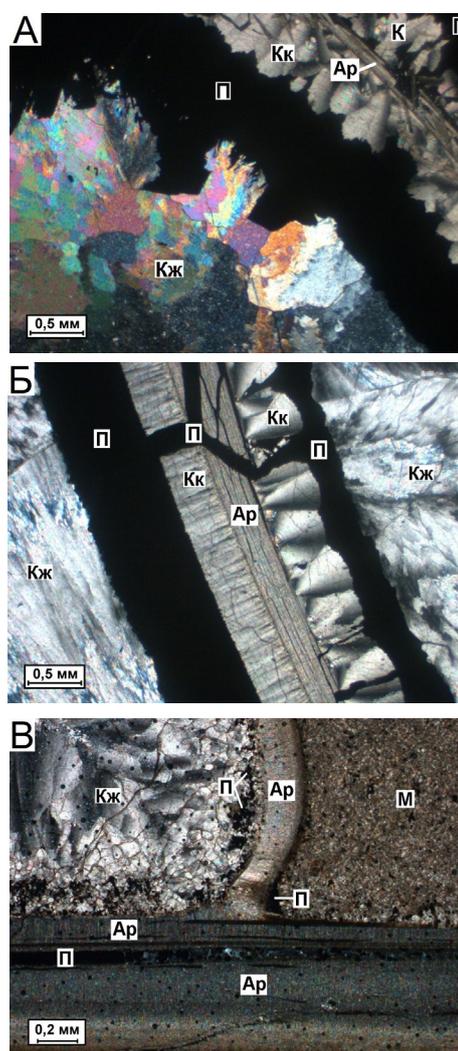


Рис. 5. Прозрачные шлифы различных типов минерализации камер аммонитов (А–В):

Ар – арагонит перегородки и стенки раковины; Кк – тёмно-коричневый непрозрачный кальцит; Кж – светло-жёлтый просвечивающий кальцит; П – пирит; М – мергель; николи X

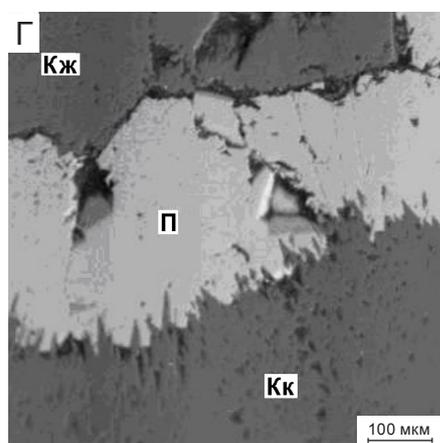
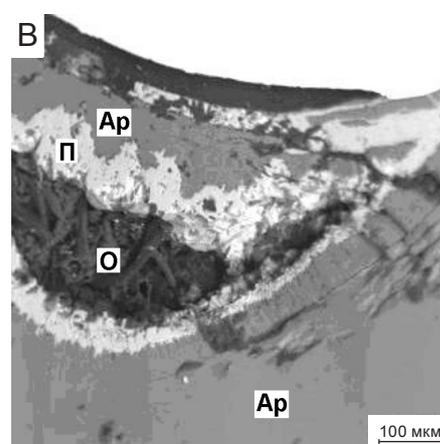
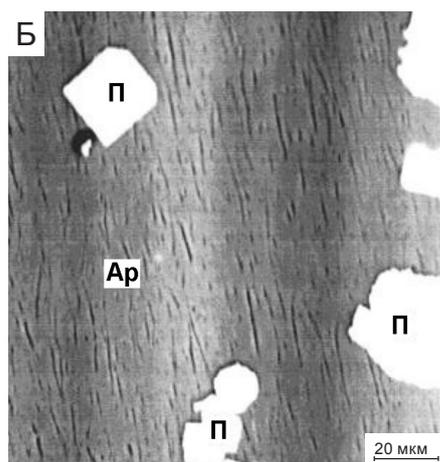
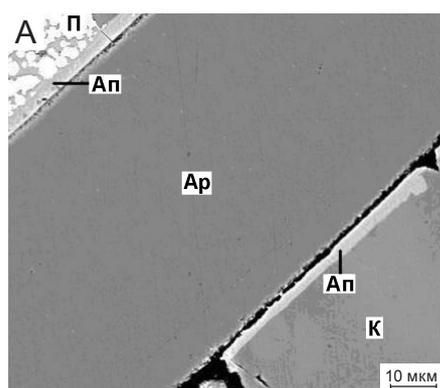


Рис. 6. Стенка раковины (А); арагонитовые слои с включениями пирита (Б) и органического вещества (В); прожилок пирита на контакте со светло-жёлтым (Кж) и коричневым (Кк) кальцитом (Г); микрозонд, ОРЭ:

Ар – арагонит; К – кальцит; П – пирит; Ап – апатит; О – органическое вещество

В отдельных порах и трещинах фиксируется также органическое вещество. Более крупные выделения органического вещества имеют пористую структуру и сопровождаются пиритом, иногда образующим достаточно широкие слои (см. рис. 6, В). Фрагменты арагонитовых слоёв с органическим веществом и пиритом в образце тёмноокрашенные. Арагонит, образующий стенки и перегородки аммонита, сохранил исходную структуру пластинчатых и призматических слоёв [5].

Химический состав арагонитовых слоёв, по данным РСМА, однороден. Из элементов-примесей в них фиксируются содержания Sr (0,1–0,5 масс.%) и в отдельных спектрах содержания Mg, Mn, Fe, P (менее 0,1 масс.%), связанные с процессом замещения. Стронций является характерным элементом арагонита и отсутствует в кальците, выполняющем камеры раковин (см. таблицу).

Вдоль контакта арагонитовых слоёв формируются мелкие (до 10 мкм) выделения пирита и апатита глобулярной формы (см. рис. 6, А). Апатит диагностирован по содержанию (в масс.%): P – 12, Ca – 35 и O – 30. В нём также фиксируются повышенные содержания (в масс.%): Na – 0,7, Mg – 0,2, Mn – 0,2 и Fe – 0,3.

Как правило, по обе стороны к арагонитовой перегородке раковины примыкают слои тёмно-коричневого непрозрачного кальцита шириной 0,5–0,8 мм (см. рис. 5, А, Б), имеющие симметричное строение. Слои содержат большое количество мелких (до 50 мкм) пор и состоят из сросшихся слабоудлинённых блоков кальцита, занимающих практически всю их ширину. Для блоков кальцита характерно веерное угасание и интерференционные фигуры в виде «креста», что соответствует базальным срезам. Центр «креста» расположен у края арагонитового прожилка (см. рис. 5, Б). Кальцитовые блоки состоят из мелких (0,05–0,1 мм) игольчатых, длиннопризматических кристалликов, образующих радиальнолучистые, сноповидные агрегаты с центрами кристаллизации, расположенными на арагонитовой стенке раковины. В процессе образования слоя происходило срастание удлинённых мелких кристалликов, благодаря которым наблюдается веерное угасание. Контакт с последующим пиритовым слоем неровный, зубчатый (см. рис. 6, Г).

Химический состав кальцита аммонита. По данным РСМА

Характеристика кальцита	Содержание элемента, масс. %				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Коричневый просвечивающий, в камерах (16)	<u>1,05–1,63</u> 1,25	<u>0,51–1,62</u> 0,84	<u>0,11–0,32</u> 0,24	<u>34,85–35,71</u> 35,36	<u>14,29–15,89</u> 15,06
Светло-жёлтый, жёлтый полупрозрачный, в камерах (22)	<u>0,61–1,84</u> 1,12	<u>0,53–2,15</u> 1,14	<u>0,62–2,74</u> 1,25	<u>33,61–37,33</u> 35,64	<u>14,58–16,12</u> 15,96
Тёмно-коричневый непрозрачный, в камерах (18)	<u>0,55–1,63</u> 0,98	<u>0,22–0,95</u> 0,33	<u>0,09–0,24</u> 0,12	<u>34,23–37,01</u> 36,24	<u>14,12–16,08</u> 15,84
В мергеле (6)	<u>0,82–0,95</u> 0,86	<u>2,04–2,35</u> 2,22	<u>0,21–0,44</u> 0,33	<u>34,61–35,59</u> 34,97	<u>15,80–17,40</u> 16,86

Примечание. Над чертой – минимальные и максимальные, а под чертой – средние значения; в скобках – число спектров.

В отдельных фрагментах аммонитов встречаются слои кальцита шириной около 0,4 мм, образованные мельчайшими удлинёнными призматическими кристалликами, имеющими близкую ориентировку, перпендикулярную арагонитовому слою (см. рис. 5, Б). В других фрагментах вдоль арагонитовых перегородок и стенок раковины расположены узкие (около 0,1 мм) прожилки мелкозернистого (0,05–0,1 мм) кальцита изометричной формы с включениями дисперсного пирита (см. рис. 5, В).

Пиритовые слои также расположены симметрично относительно арагонитовой перегородки раковины. Ширина их обычно от 0,5 до 1 мм, на внешних стенках раковин возрастает до 5 мм. Кристаллы сильно удлинённой формы: длина 200–300 и ширина 20–35 мкм (рис. 7, А, Б). Прослеживается ориентировка кристаллов, перпендикулярная арагонитовой перегородке раковины. На гранях кристаллов присутствует штриховка, в слое практически отсутствуют микротрещины и микропоры. При больших увеличениях наблюдаются следы коррозии поверхности кристаллов (см. рис. 7, В). Этот факт указывает на частичное разрушение пиритового слоя после его формирования при более позднем заполнении камер раковин кальцитом.

Контакт с последующим кальцитовым слоем обусловлен формой и размером кристаллов пирита (см. рис. 6, Г). Пирит часто выполняет трещинки, пересекающие арагонитовые и примыкающие к ним кальцитовые слои. Контакт таких пиритовых прожилков чёткий, ровный (см. рис. 5, Б). В отдельных фрагментах раковины наблюдаются тонкие зоны кальцита с мелкими кристалликами пирита, не образовавшими мономинеральные слои. Слои пирита в обратно-

рассеянных электронах однородны, содержат небольшое количество мелких пор (см. рис. 6, Г). Сумма содержаний S и Fe близка к 100 масс.%, из элементов-примесей зафиксирован As с содержанием до 0,12 масс.%. Из приведённых фактов следует, что слои пирита формировались в результате последовательной кристаллизации его кристаллов без метасоматического замещения ранее образованного кальцита. Кристаллы пирита начинали формироваться на окончаниях и в промежутках кристаллов кальцита, обусловив зубчатый контакт слоёв.

Завершающий этап заполнения камер раковины кальцитом начинается из центров кристаллизации, расположенных на ранее образованных пиритовых, реже кальцитовых слоях. Кристаллы кальцита удлинённо-призматической формы, при срастании образуют изометричные блоки размером 1–3 мм (см. рис. 5). Блоки состоят из нескольких удлинённых плотно сросшихся кристаллов кальцита близкой ориентировки, что обуславливает их ровное угасание; блоки разноориентированы. Это подтверждается в шлифах различными углами угасания и интерференционными окрасками. В кальците отмечаются редкие кристаллы пирита кубического габитуса, размером до 0,5 мм. Зоны светло-коричневого непрозрачного кальцита содержат большое количество мелких пор, которые обуславливают рассеивание проходящего света. Участки, образованные крупными кристаллами близкой ориентировки, с небольшим количеством пор имеют более высокую прозрачность и расположены в центральных частях камер.

В кальците из элементов-примесей, по данным РСМА, фиксируются устойчивые содержания Mg,

Mn, Fe. Разноокрашенные слои кальцита характеризуются различными содержаниями этих элементов. Кальцит коричневый, просвечивающий, содержит в среднем (в масс.%): Mg – 1,25, Mn – 0,84 и Fe – 0,24; светло-жёлтый, жёлтый полупрозрачный: Mg – 1,12, Mn – 1,14 и Fe – 1,25; тёмно-коричневый непрозрачный примыкающий к перегородкам: Mg – 0,98, Mn – 0,33 и Fe – 0,12 (см. таблицу).

Мергель состоит из включений полиминерального состава, сцементированных кальцитом с пелитовой структурой и размером кристаллов 7–15 мкм (см. рисунки 5, В и 7, Г). Микротрещины в мергеле выполнены разноориентированными кристаллами кальцита изометричной формы. В кальците, слагающем мергель, из элементов-примесей фиксируются содержания (в масс.%): средние Mg – 0,86, высокие Mn – 2,22 и относительно низкие Fe – 0,33 (см. таблицу). Из минеральных включений в мергеле по элементному составу выделены пирит, кварц, гидроксиды железа, алюмосиликаты, карбонаты марганца. Характерно большое количество кристалликов пирита, который начинает формироваться в виде глобул размером 0,5 мкм. Их срастание образует уже

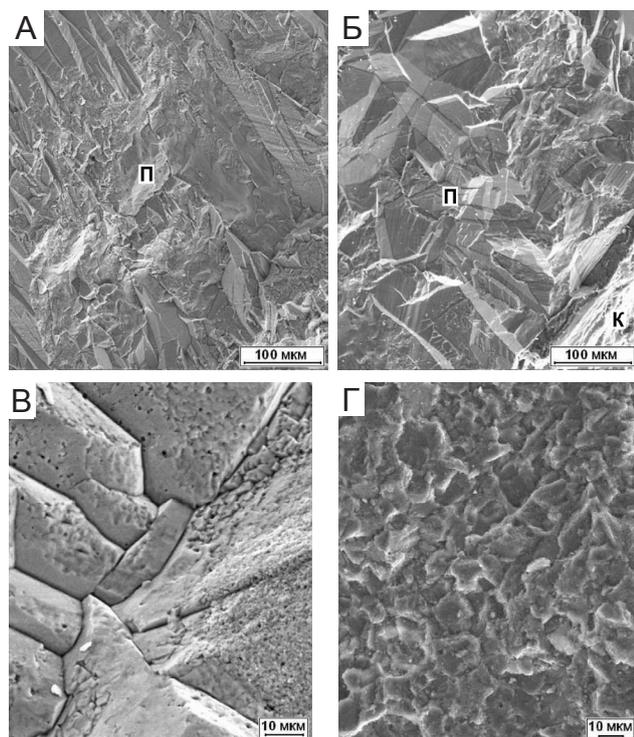


Рис. 7. Структура пиритового слоя на различных участках (А, Б); корродированная поверхность кристаллов пирита (В); структура мергеля (Г); РЭМ:

К – кальцит; П – пирит

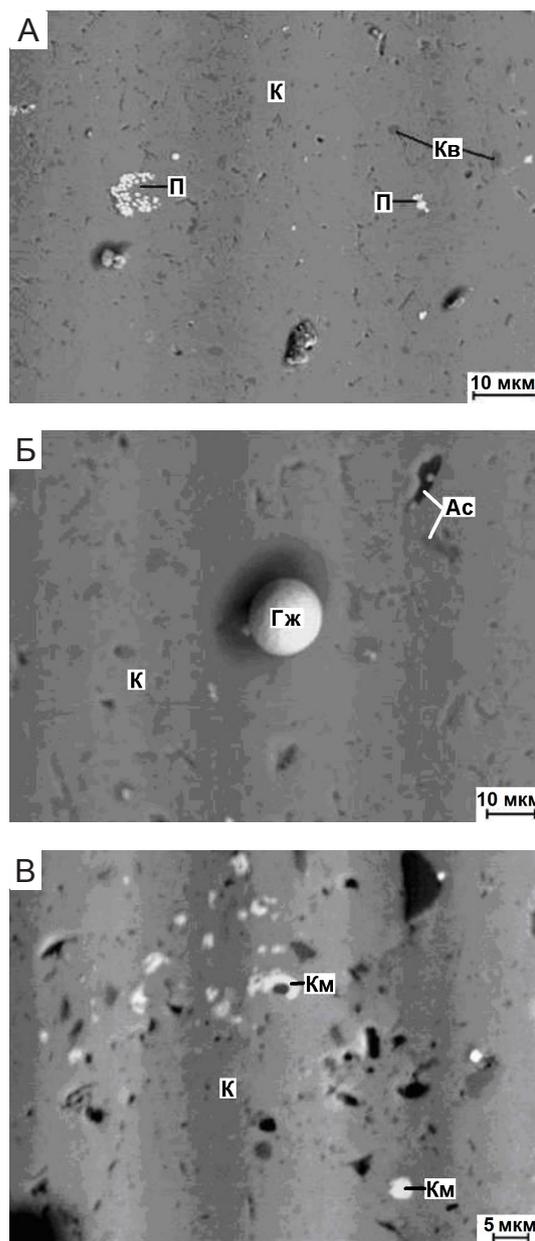


Рис. 8. Включения в кальците (К) пирита (П), кварца (Кв) (А), алюмосиликатов (Ас), гидроксидов железа (Гж) (Б) и карбонатов марганца (Км) (В); микрозонд, ОРЭ

большой кристалл (рис. 8, А). Размер кристалликов кварца составляет 1–2 мкм. Выделена глобула величиной 15 мкм, состоящая из гидроксида железа (см. рис. 8, Б), сформировавшаяся, вероятно, в результате окисления пирита. Алюмосиликаты имеют сложную форму и размер до 12 мкм (см. рис. 8, Б). Карбонаты марганца образуют мелкие изометричные кристаллы величиной 3 мкм (см. рис. 8, В).

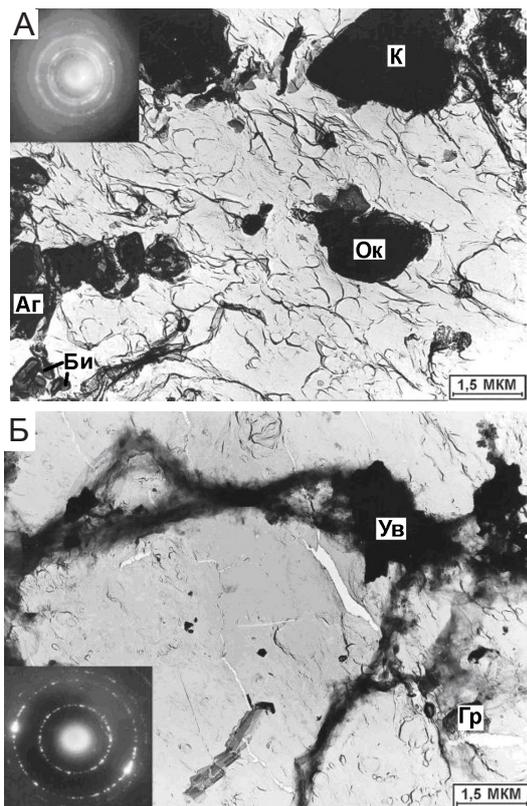


Рис. 9. Матрица кальцита (К) с микровключениями альгодонита (Аг), оксида кальция (Ок), бактерий, импрегнированных оксидом кальция (Би) (А), графита (Гр) и углеродистого вещества (Ув) (Б); МДК оксида кальция (А) и графита (Б); ПЭМ

Электронно-микроскопическими исследованиями на просвечивающем электронном микроскопе установлено, что наиболее сложный минеральный состав микровключений имеют частично или полностью замещённые арагонитовые стенки и перегородки раковин и примыкающие к ним слои кальцита. Определяющую роль в процессе разрушения арагонитовых слоёв и формировании новых минеральных видов, несомненно, играли бактерии.

При разрушении исходных слоёв арагонита происходило перераспределение вещества с формированием других минеральных фаз. На одном из таких участков выделена частица, которая даёт МДК оксида кальция (рис. 9, А). Её кольцевая структура указывает на тонкодисперсность образования. На данном участке зафиксированы бактерии, импрегнированные оксидом кальция, и частичка альгодонита с нечётко выраженной гексагональной формой. На поверхности крупнокристаллического кальцита выделено жгутовидное образование слабонаструктурированного углеродистого вещества, в пределах которого установлена тонкодисперсная частица графита размером 0,6 мкм, подтверждаемая МДК (см. рис. 9, Б). Поскольку вмещающие породы не претерпели необходимых условий для образования графита, можно предположить, что это одна из разновидностей шунгита.

На участке образца, сильно изменённом вторичными процессами, наблюдаются колломорфные и мелкозернистые выделения, состоящие преимущественно из оксида кальция (рис. 10). На этом участке

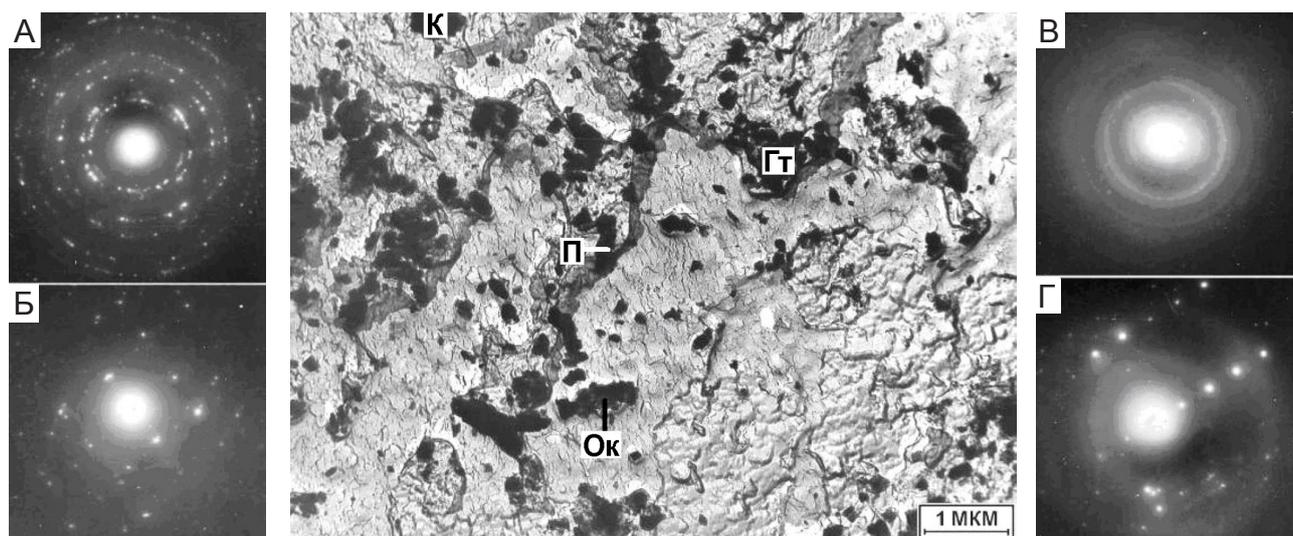


Рис. 10. Матрица кальцита с микровключениями оксида кальция (Ок), пиролюзита (П), гётита (Гт) и кварца (К); МДК оксида кальция (А), пиролюзита (Б), гётита (В) и кварца (Г); ПЭМ

выделяется ряд микрофаз: удлинённая частичка пиролюзита размером $0,5 \times 0,2$ мкм, тонкодисперсные гётит и кварц размером 0,6 мкм. По данным [8], в фоссилизированных аммонитах из юрских отложений Костромской области (нижнее течение р. Унжа) был установлен кварц биогенного происхождения. В данном случае это позволяет отнести кварц наряду с другими микровключениями к новообразованным минералам, сформировавшимся в результате перекристаллизации структурных элементов аммонита. На другом участке раковины (рис. 11, А) выделена крупная частица ферригидрита размером 5×9 мкм. В её нижней части по МДК выделяется мелкая частица апатита размером 0,6 мкм.

С процессами перекристаллизации и выщелачивания связано выделение плёночного образования шпинели (магнетита?) размером около 11 мкм с небольшим количеством вернадита (см. рис. 11, Б). На этом участке наблюдаются бактерии, импрегнированные оксидами железа и марганца, с которыми, вероятно, и связано разрушение матрицы.

На ступенчатой поверхности матрицы кальцита наблюдается ряд мелких чешуйчатых частиц гидрогётита размером менее 1 мкм, подтверждающихся МДК (см. рис. 11, В, Г). Округлая частица размером около 1 мкм, по данным МДК, является оксидом урана (см. рис. 11, В, Д).

На другом участке (рис. 12, А) выделяются игольчатые кристаллики тодорокита длиной 0,5 мкм и сгустки вещества размером около 0,9 мкм. По данным МДК, они состоят из частичек апатита и вернадита (см. рис. 12, А–В). На МДК, помимо кольцевых отражений вернадита, присутствуют ещё и точечные максимумы гётита. На сильно изменённом участке матрицы кальцита (см. рис. 12, Д) наблюдается кристаллик пирита квадратной формы размером 0,3 мкм. Во фронтальной части участка микродифракционно устанавливается область выделения монацита (см. рис. 12, Д, Ж).

На блочной поверхности матрицы кальцита (см. рис. 12, З) выделяются игольчатые кристаллы галлуазита до 2 мкм, здесь же обнаружена и бактерия размером 2 мкм. Блоки кальцита гексагональной формы, от 1 до 2 мкм. Возможно, кальцит здесь является псевдоморфозами по арагониту призматического слоя стенки раковины.

Выводы. Аммониты ювелирно-поделочного качества из готеривских отложений Ульяновской области имеют полиминеральный состав и сложное внутреннее строение. Основными минералами, выполняющими аммонит, являются кальцит, пирит, арагонит. Стенки и перегородки преимущественно состоят из арагонита с сохранением призматических и пластинчатых слоёв. Присутствуют фрагменты

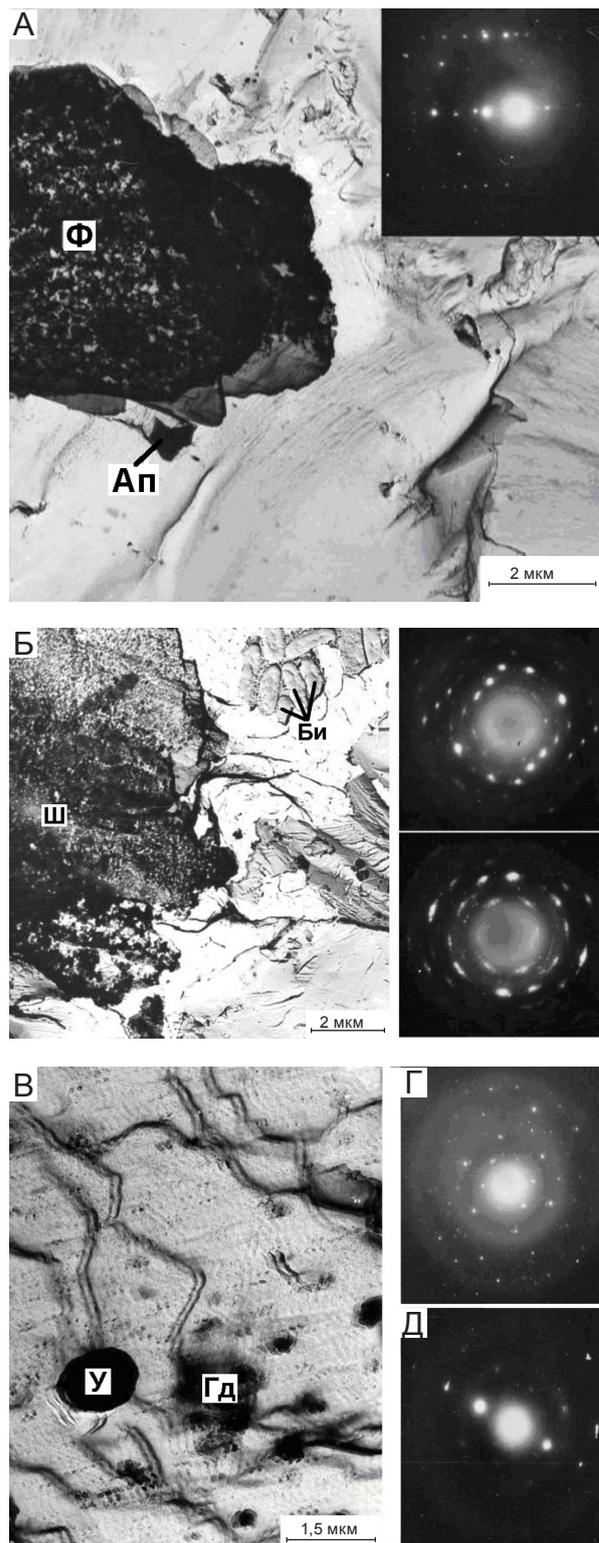


Рис. 11. Матрица кальцита с микровключениями ферригидрита (Ф) и апатита (Ап); МДК апатита (Ап); плёночное выделение шпинели (Ш) с небольшим количеством вернадита и бактериями (Би); МДК шпинели (Б); гидрогётита (Гд) и оксида урана (У) (В); МДК гидрогётита (Г), оксида урана (Д); ПЭМ

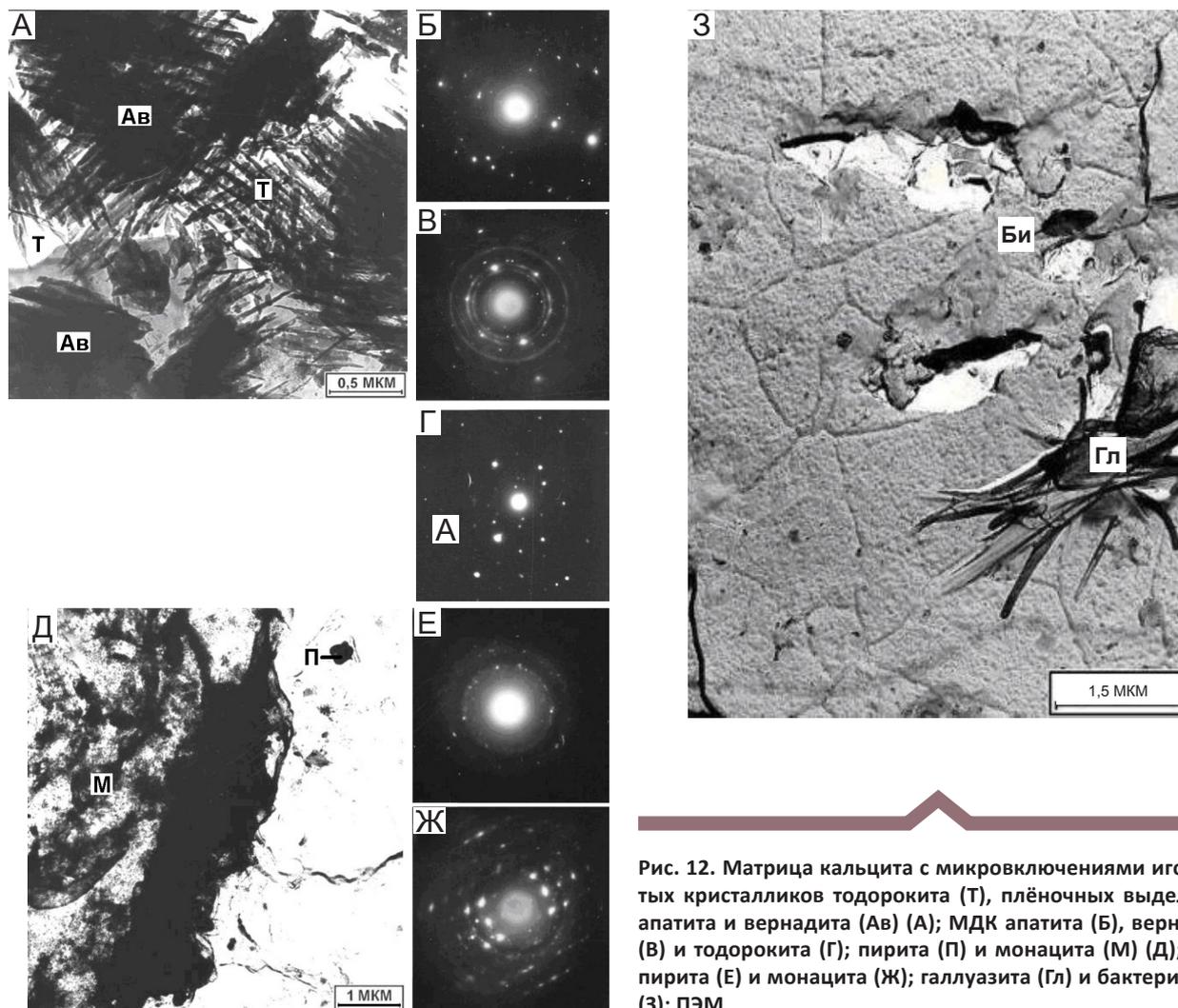


Рис. 12. Матрица кальцита с микровключениями игольчатых кристалликов тодорокита (Т), плёночных выделений апатита и вернадита (Ав) (А); МДК апатита (В), вернадита (В) и тодорокита (Г); МДК пирита (П) и монацита (М) (Д); МДК пирита (Е) и монацита (Ж); галлуазита (Гл) и бактерий (Би) (3); ПЭМ

разрушения и перекристаллизации арагонитовых слоёв с образованием микровключений кальцита, апатита, пирита, органического вещества.

Кальцит выполняет неразрушенные камеры аммонита, образуя слои различной окраски, текстуры и прозрачности. Кристаллы кальцита различаются по прозрачности и морфологии в широком диапазоне в пределах одной камеры. В слоях кальцита фиксируются включения пирита, апатита, альгодонита, углеродистого вещества, графита, пиролюзита, гётита, кварца, ферригидрита, магнетита, оксида урана, вернадита, тодорокита, монацита, галлуазита. В кальците из элементов-примесей фиксируются Mg, Mn и Fe. Различные по цвету слои кальцита отличаются по содержанию Mn и Fe. Минерализация неразрушенных камер аммонита осуществлялась последовательным образованием слоёв кальцита, пирита без существенных метасоматических замещений. Важную роль в образовании новых минеральных видов играли бактерии.

Пирит образует слои и мелкую вкрапленность в аммоните. Из элементов-примесей в нём фиксируется As. При окислении пирита образовывался гётит и гематит. Мергель, выполняющий жилые и разрушенные газовые камеры раковин, состоит из кальцита, являющегося цементом, с включениями гидростлюды, кварца, пирита, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, каолинита, глауконита. Присутствуют гематит, гётит, карбонаты марганца, доломит, органическое вещество. Установленные минеральный состав и элементы-примеси в аммонитах позволяют проводить их идентификацию.

Аммониты характеризуются высокой декоративностью, обусловленной сочетанием слоёв пирита и разноокрашенного кальцита и положительными технологическими характеристиками. Добыча аммонитов ювелирно-поделочного качества ведётся без использования горных выработок и нарушения экологии, что не требует существенных вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабошкин Е.Ю.* Палеография Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления в раннем мелу // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 1. – М.: Изд-во Геокарт. GEOS, 2005. – С. 201–232.
2. *Барабошкин Е.Ю., Михайлова И.А.* Новая стратиграфическая схема нижнего апта Среднего Поволжья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 82–105.
3. *Быстров И.Г., Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю.* Нижнемеловые ювелирно-поделочные аммониты Республики Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2018. – Т. 12. – № 1. – С. 32–41.
4. *Геология СССР. Поволжье и Прикамье.* Т. XI. Ч. 1. Геологическое описание // Под ред. А.В.Сидоренко. – М.: Недра, 1967. – 872 с.
5. *Петроченков Д.А.* Структурные особенности ювелирного перламутра готеривских аммонитов Ульяновской области // Записки РМО. – 2018. – № 4. – С. 107–113.
6. *Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю.* Коллекционные, интерьерные и ювелирные аммониты из отложений нижнего апта Ульяновской области // Отечественная геология. – 2019. – № 1. – С. 79–88.
7. *Петроченков Д.А., Быховский Л.З.* Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2018. – № 4. – С. 15–22.
8. *Юшкин И.П., Каткова В.И., Льюров С.В.* Минералогия фоссилизированных аммонитов // Записки РМО. – 2011. – Ч. 140. – Вып. 1. – С. 3–11.
9. *Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V.* Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. – 2013. – Vol. 16 (1). – P. 5–65.
10. *Mychaluk K.* Update on Ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. – 2009. – Vol. 45. – № 3. – P. 192–196.
11. *Mychaluk K., Zevinson A., Russelle H.* Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. – 2001. Spring. – Vol. XXXVII. – P. 4–25.
12. *Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K.* et al. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar // Journal of African Earth Sciences. – 2014. – Vol. 89. – P. 79–132.
13. *Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y.* et al. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Research. – 2016. – Vol. 58. – P. 29–41.

REFERENCES

1. *Baraboshkin Ye.Yu.* Paleografiya Vostochno-Yevropeyskoy platformy i yeye yuzhnogo obramleniya v rannem melu [Paleography of the East European Platform and its southern framing in the Early Cretaceous]. Seriya analiticheskikh obzоров "Ocherki po regional'noy geologii Rossii". Issue 1. Moscow, Geokart. GEOS publ., 2005. P. 201–232.
2. *Baraboshkin Ye.Yu., Mikhaylova I.A.* Novaya stratigraficheskaya skhema nizhnego apta Srednego Povolzh'ya [A new stratigraphic diagram of the lower Aptian of the Middle Volga region]. Stratografiya. Geologicheskaya korrelyatsiya. 2002. V. 10. No. 6. P. 82–105.
3. *Bystrov I.G., Petrochenkov D.A., Baraboshkin Ye.Yu.* Nizhnemelovyye yuvelirno-podelochnyye ammonity Respubliki Dagestan [Lower Cretaceous jewelry and ornamental ammonites of the Republic of Dagestan]. Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Yestestvennyye i tochnyye nauki. 2018. V. 12. No. 1. P. 32–41.
4. *Geologiya SSSR. Povolzh'ye i Prikam'ye.* V. XI. CH. 1. Geologicheskoye opisaniye [Geology of the USSR. Volga and Kama regions. V. XI. Part 1. Geological description]. Pod red. A.V.Sidorenko. Moscow, Nedra publ. 1967. 872 p.
5. *Petrochenkov D.A.* Strukturnyye osobennosti yuvelirnogo perlamutra goterivskikh ammonitov Ul'yanovskoy oblasti [Structural features of jewelry nacre of Hauterivian ammonites of the Ulyanovsk region]. Zapiski RMO. 2018. No. 4. P. 107–113.
6. *Petrochenkov D.A., Baraboshkin Ye.Yu.* Kolleksiionnyye, inter'yernyye i yuvelirnyye ammonity iz otlozheniy nizhnego apta Ul'yanovskoy oblasti [Collection, interior and jewelry ammonites from the deposits of the lower Aptian of the Ulyanovsk region]. Otechestvennaya geologiya. 2019. No. 1. P. 79–88.
7. *Petrochenkov D.A., Bykhovskiy L.Z.* Yuvelirno-podelochnyye ammonity: problemy otsenki i perspektivy dobychi [Jewelry and ornamental ammonites: assessment problems and production prospects]. Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye. 2018. No. 4. P. 15–22.
8. *Yushkin I.P., Katkova V.I., Lyyurov S.V.* Mineralogiya fossilizirovannykh ammonitov [Mineralogy of fossilized ammonites]. Zapiski RMO. 2011. CH. 140. Issue 1. P. 3–11.
9. *Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V.* Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco). Fossil Record. 2013. Vol. 16 (1). P. 5–65.
10. *Mychaluk K.* Update on Ammolite production from Southern Alberta, Canada. Gems & Gemology. 2009. Vol. 45. No. 3. P. 192–196.
11. *Mychaluk K., Zevinson A., Russelle H.* Ammolite: Iridescent fossilized ammonite from Southern Alberta, Canada. Gems & Gemology. 2001. Spring. Vol. XXXVII. P. 4–25.
12. *Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K.* et al. Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar. Journal of African Earth Sciences. 2014. Vol. 89. P. 79–132.
13. *Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y.* et al. Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data. Cretaceous Research. 2016. Vol. 58. P. 29–41.

Исследования гидротермальных полей на дне Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов «Мир»

А.М.САГАЛЕВИЧ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук (ФГБУН ИО РАН); 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36),
В.Д.САГАЛЕВИЧ (Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова; 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские Горы)

В данной статье рассматриваются вопросы методики геологических исследований гидротермальных полей на дне океана с применением ГОА «Мир», вопросы преимущества этих технических средств перед другими средствами изучения океана. Дается краткое описание устройства ГОА «Мир», их преимуществ перед зарубежными аналогами. Приводятся результаты геологических исследований гидротермальных полей различных типов в разных районах Мирового океана. Даются количественные оценки рудообразования и метановых сочений в некоторых районах исследований, проводившихся с помощью ГОА «Мир».

Ключевые слова: ГОА «Мир-1», «Мир-2», гидротермальные поля, методики геологических исследований, спрединг, рифтовые зоны, плюмы.

Сагалевич Анатолий Михайлович
доктор технический наук



sagalev1@yandex.ru

Сагалевич Вячеслав Дмитриевич

slavsag@gmail.com

The study of hydrothermal fields on ocean bottom with deep submersibles «Mir»

A.M.SAGALEVICH (Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences),
V.D.SAGALEVICH (Lomonosov Moscow State University)

In this article, the methods of geological research of hydrothermal fields on the ocean floor with the use of deep manned submersibles Mir-1 and Mir-2 are considered. A brief description of the Mir submersibles and their advantages over foreign counterparts is given. The results of geological studies of hydrothermal fields of various types in different regions of the World Ocean are presented. Quantitative estimations of ore formation and methane seeps in some areas of Mirs research are given.

Key words: Deep manned submersibles «Mir-1», «Mir-2», hydrothermal fields, methods of geological research, spreading, rift zones, plumes.

Развитие знаний об океане и, в частности, о его геологии во многом связано с внедрением в практику океанологических исследований принципиально новых технических средств и методов изучения океана.

Применение широкого комплекса геолого-геофизических методов исследований, позволившего собрать огромное количество научных данных о рельефе дна океана, закономерностях строения атмосферы и океанической коры, магнитных и гравиметрических полях, тепловом обмене между верхними слоями осадков и природным водным слоем и др.,

произвело в 1950–1960-х гг. подлинную революцию в науках о Земле. Американские учёные Р.Дитц и Г.Меннард в 1953 г. опубликовали результаты картирования дна Тихого океана с помощью эхолота и методов сейсморазведки: на карту легли крупные протяжённые структуры, возвышающиеся над уровнем океанского ложа на несколько сотен метров и изобилующие разломами и сбросовыми уступами.

На основании результатов многолетних геолого-геофизических исследований американские учёные М.Юинг и Б.Хизен в 1956 г. сделали заключение,

что дно океана пересекают системы срединно-океанических хребтов, которые опоясывают земной шар, имеют общую протяжённость 60 000 км и возвышаются над ложем океана на 1–3 км [17]. Таким образом, были открыты глобальная система океанических рифтов и противостоящая ей система глубоководных желобов и сопряжённых с ней вулканических дуг. На базе этих открытий разработана теория тектоники литосферных плит, позволившая связать воедино процессы, протекающие в верхней оболочке земли. Эта теория получила название Вегенеровской революции в честь геофизика Альфреда Вегенера, который ещё в начале XX в. высказывал предположение о движении континентов. Согласно этой теории, твёрдая оболочка Земли – литосфера – разбита на несколько плит, которые подстилает вязкая астеносфера. В океанических рифтах блоки литосферы – литосферные плиты – раздвигаются, освобождая место для внедрения магматических расплавов, поднимающихся к поверхности из недр и формирующих новую океаническую кору. Причём интенсивность образования геологических структур определяется скоростью раздвижения плит (спрединга), составляющей от 1–2 см на Срединно-Атлантическом (САХ) и других низко-спрединговых хребтах до 18 см на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП).

Принципиально новый этап в геологических исследованиях дна океана начался с внедрением в практику изучения океана глубоководных обитаемых аппаратов (ГОО), позволивших исследователю максимально приближаться к объекту изучения и проводить непосредственные визуальные наблюдения донных геологических структур через иллюминаторы аппаратов. Обитаемые аппараты открыли учёным новые возможности в плане достоверности и детальности исследований.

Первые глубоководные научные погружения относятся к середине 1930-х гг., когда Вильям Биб и Отис Бартон погрузились в батисфере на тросе на глубину 923 м [11]. В процессе погружений проводились биологические наблюдения. Следующим этапом была эра батискафов. Швейцарский учёный Огюст Пикар¹ по принципу стратостата изобрёл «подводный стратостат» – батискаф, с той разницей, что в первом лёгкий газ (гелий, водород) создаёт стратостату подъёмную силу, а во втором – лёгкая жидкость (бензин) обеспечивает плавучесть батискафа. 23 января 1960 г. на батискафе «Триест» совершилось погружение во впадину Челленджер в Марианском желобе на глубину 10 916 м. Членами экипажа были

сын Огюста Жак Пикар и офицер ВМФ США Дон Уолш [26]. Ранее О.Пикар создал батискафы «ФНРС-2 и 3» (максимальная глубина 4000 м), а во Франции Анри Делёз – батискаф «Архимед» (11 000 м). Однако батискафы были несколько неудобны в эксплуатации из-за громоздкости и маломаневренности. Большие габариты были обусловлены наличием огромного металлического поплавка длиной 18 м, заполняемого 250–300 т бензина. К этому добавлялось 16 т стальной дробы, сбрасываемой на дно для обеспечения всплытия. Батискафы доставлялись к месту проведения работ путём буксировки.

В 1963 г. утонула атомная подводная лодка (АПЛ) «Трешер» на глубине 2800 м. В то время, кроме батискафа «Триест», искать её останки было нечем. Однако после нескольких погружений батискафа стало ясно, что для проведения поисковых и детальных технических операций на дне «Триест» не пригоден. В начале 1960-х гг. в США был изобретён глубоководный плавучий материал – синтактик, представляющий композит из стеклянных микросфер и эпоксидной смолы. Потом в течение нескольких лет в США создали десятки аппаратов на базе синтактика. Вновь построенные аппараты (рис. 1) были в 3–4 раза меньше батискафов и в 15–20 раз легче [11].

В то же время возникли трудности при поисках АПЛ «Трешер» с помощью «Триеста». Стало ясно, что необходимо мобильное и эффективное средство для осуществления поиска лежащих на дне объектов. В Океанографическом Институте Скриппса (США) был создан первый глубоководный буксируемый аппарат «Deep tow», который представлял собой небольшую платформу, оборудованную локатором бокового обзора, фотосистемой и набором гидрофизических датчиков и, буксируемую на кабеле вблизи дна – от 5 до 100 м, в зависимости от размеров искомого объекта.

Эти две инновации в дальнейшем сыграли большую роль не только в решении специальных задач ВМФ, но и в научных исследованиях океана. Исследовательский комплекс «буксируемый и обитаемый аппарат» до сих пор остаётся наиболее эффективной комбинацией технических средств, способных решить практически любую научную или прикладную задачу. Учитывая то, что ГОО имеют ограниченный энергетический ресурс и небольшую подводную скорость, осуществление поиска объектов и явлений на дне с их помощью нерационально. Поэтому принята методика поиска объектов на дне с помощью буксируемых аппаратов, а затем проведение детальных исследований или точных технических операций с применением ГОО. Именно благодаря применению такой методики было сделано одно из важнейших открытий на дне океана – гидротермальные поля.

¹Огюст Пикар летал в стратосферу и достиг рекордной для тех времён высоты 23 000 м (1934 г.).

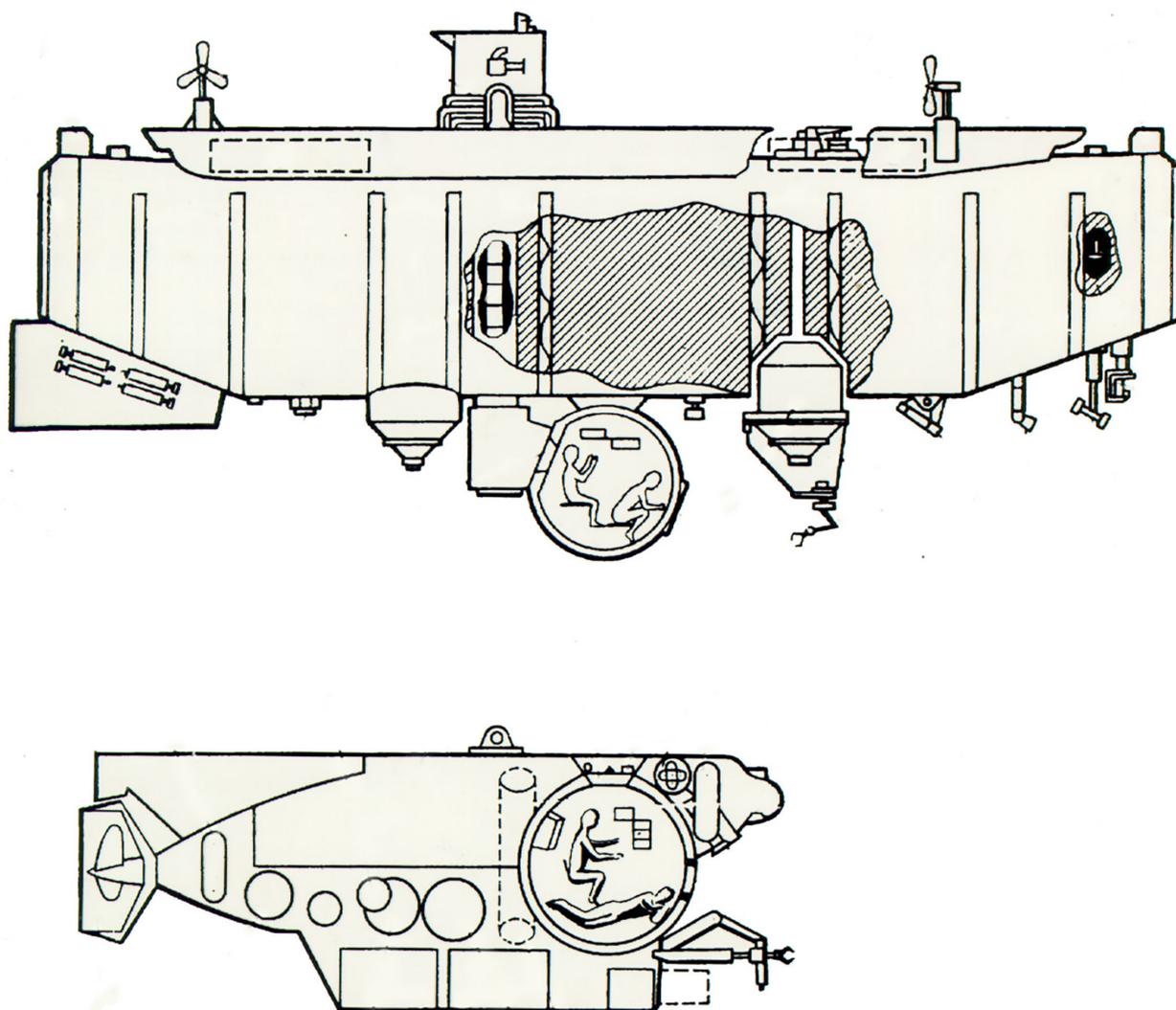


Рис. 1. Батискаф и современный ГОА (сравнение габаритов)

Открытие гидротермальных полей. Гидротермальные проявления на дне океана обнаружили ещё в конце XIX в. во время экспедиции на судне «Челленджер» (1873–1876 гг.). Тогда на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП) были открыты донные осадки с необычно высоким содержанием железа. Позднее, в 1940-х гг., в том же районе со дна были подняты осадки с высокой концентрацией целого ряда металлов [25]. В 1972 г. Институт океанологии им. П.П.Ширшова АН СССР начал проводить регулярные исследования в районе ВТП, а также в Красном море. Немецкие научно-исследовательские суда (НИС) «Вальдивия», «Нереус», американские «Атлантис II» и «Чейн» также работали в Красном море, где в донных впадинах были обнаружены горячие рассолы высокой плотности, а на дне – осадки с высо-

ким содержанием металлов, названные металлоносными [18]. Учёные склонялись к тому, что такая высокая концентрация металлов в осадках возможна только в результате выходов гидротермальных вод из глубинных слоёв земной коры. Главная ставка в поисках гидротермальных излияний была сделана на глубоководные обитаемые аппараты. Для проведения исследований выбрали несколько «горячих точек». Первая крупная экспедиция с применением трёх обитаемых аппаратов – «Алвин» (США), «Сьяна» и батискаф «Архимед» (Франция) – состоялась в 1973–1974 гг. на Срединно-Атлантический хребт (37°с.ш.) в район Азорских островов (проект «Фамус») [8]. В этой экспедиции учёные через иллюминаторы аппаратов впервые увидели как устроены океанические рифты, исследовали формы лавовых

Глубоководные обитаемые аппараты 1980-х гг. с рабочей глубиной 6000 м

ГОВА	Страна	Год постройки	Рабочая глубина
Наутил	Франция	1985	6000
Си Клиф	США	1986 (выведен из эксплуатации в 1998 г.)	6000
Мир-1 Мир-2	СССР (Россия)	1987 1987	6000 6000
Шинкай 6.5	Япония	1989	6500

излияний и др. Однако самих гидротермальных излияний не обнаружили. После этой экспедиции было высказано мнение о том, что выходы гидротермальных флюидов наиболее вероятны в районах с высокой скоростью спрединга, где процесс раздвижения литосферных плит должен сопровождаться большим выделением тепла.

В 1976 г. проводились исследования с применением глубоководного буксируемого аппарата «Ангус» (США, Вудсхольский океанографический институт) в районе Галапагосского рифта, оборудованного фотокамерой с импульсным осветителем и температурным датчиком. При первой же буксировке вблизи дна была измерена повышенная температура, которая держалась на высоком уровне довольно долго. После подъёма «Ангуса» на борт судна проявили фотопленку, на которой были сняты необычные животные – большой величины двухстворчатые моллюски длиной до 16 см. Это оказались неизвестные ранее калиптогены. В феврале 1977 г. в исследуемый район пришло судно «Атлантис II» с ГОВА «Алвин» на борту. Была проведена серия погружений «Алвина», во время которой учёные наблюдали «сказочную» картину гидротермальных излияний на дне. Позже их назвали «розовым садом». Следующим этапом стало открытие высокотемпературных источников в виде «чёрных курильщиков» (21°с.ш.) в экспедиции «Суатех», в которой применялись ГОВА «Алвин» и «Суана» [14]. Здесь были открыты выходы флюидов с температурой 300°–350°С в виде чёрного дыма из сульфидных труб, а также новый вид гидротермальных животных – вестиментифер – длинных (до 1,5 м) червей, наполненных кровью, убежищем которых являются белые патрубки. По наблюдениям одного из авторов данной статьи при погружениях «Миров»: «Вестиментиферы высовывают из трубок красные головки, и издали их поселения смотрятся как лужок с тюльпанами, но при приближении к ним ма-

нипулятора красные головки прячутся внутрь». На самом деле в первых экспедициях на гидротермальные поля было сделано одно из величайших открытий в океане: был открыт хемосинтез – рождение жизни и её существование при полном отсутствии солнечного света за счёт окисления восстановленных соединений серы хемоавтотрофными бактериями. Немного позже, когда были открыты сочтения метана на дне, около которых обнаружили поселения бактерий в виде бактериальных матов, а также погонофор, актиний и других животных, было установлено существование метанотрофии – окисления метана метанотрофными бактериями [5].

Открытие гидротермальных полей сподвигло учёных и инженеров-океанологов ведущих океанологических держав мира подумать о создании ГОВА с глубиной погружения 6000 м, которые позволяли бы погружаться на 98% площади Мирового океана. В 1980-е гг. в ведущих странах мира было создано пять ГОВА с глубиной погружения 6000 м и более (см. таблицу). Именно с вводом в строй шеститысячников началось интенсивное изучение гидротермальных полей, так как до этого лишь два аппарата в мире, не считая батискафов «Триест» и «Архимед», могли погружаться на глубины более 2000 м, на которых расположено большинство гидротермальных полей: «Алвин» (4000 м, США) и «Сьяна» (3000 м, Франция). Необходимо отметить, что почти 10 лет после открытия гидротермальных полей существовало твёрдое мнение, что горячие источники на дне океана могут быть только в районах с высокой скоростью спрединга.

Лишь в 1985 г. с борта судна «Researcher» в районе Срединно-Атлантического хребта на 26°с.ш. были измерены высокие температуры в придонном слое и подняты образцы гидротермально изменённых пород. В 1986 г. судно «Атлантис II» с экспедицией, возглавляемой Питером Рона, пришло в этот

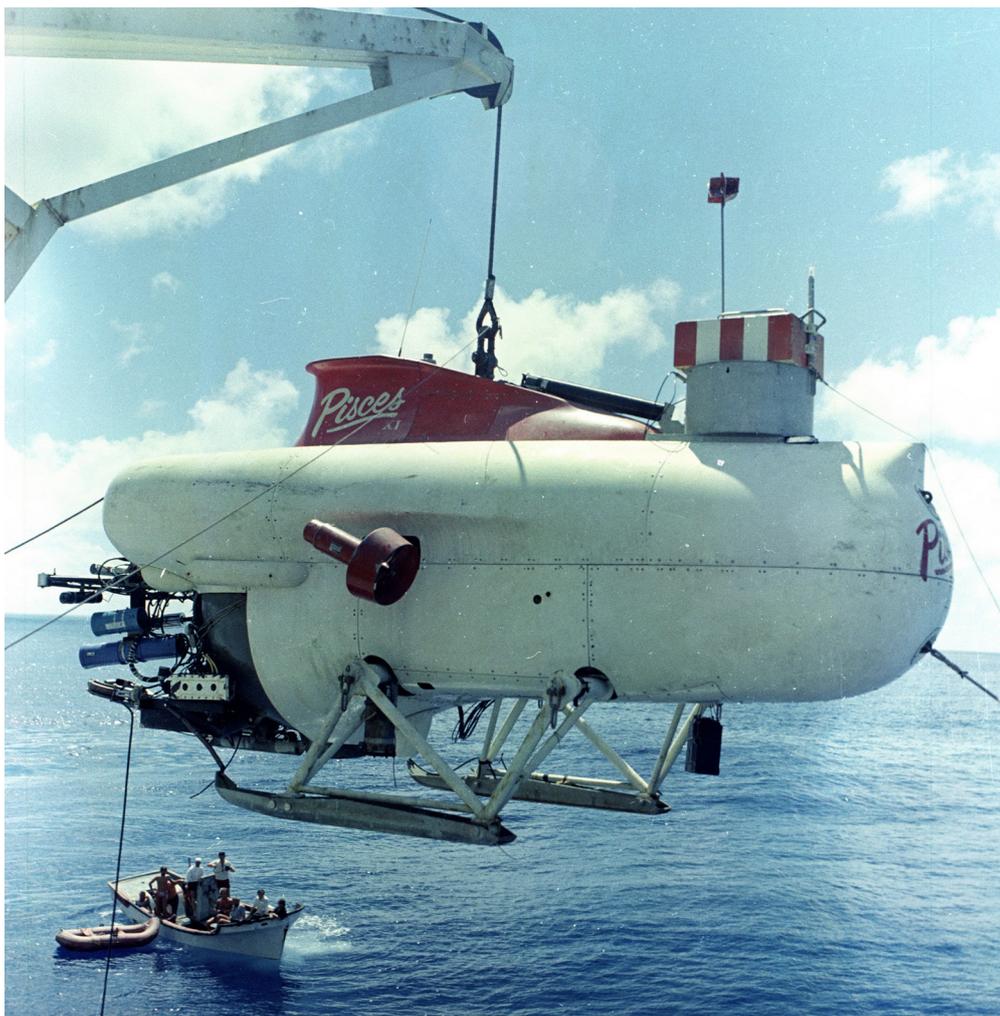


Рис. 2. ГОА «Пайсис XI»

район. ГОА «Алвин» сделал несколько погружений. Учёные обнаружили высокую гидротермальную активность на глубине 3600 м в виде мощных сульфидных построек, большого количества чёрных курильщиков, обширных роев креветок, заполнявших практически всё пространство между чёрными дымами. Открытие Питера Рона стало очень важным, так как оно показало, что гидротермальные поля могут существовать при любой скорости спрединга. В течение нескольких последующих лет на САХ была открыта целая серия гидротермальных полей.

Новое направление в исследованиях океана в ИО РАН. В нашей стране планомерные научные исследования гидротермальных полей начались с введением в практику изучения океанов глубоководных обитаемых аппаратов «Пайсис VII» и «Пайсис XI» с рабочей глубиной 2000 м, приобретённых в Канаде

в 1975 и в 1976 гг., соответственно (рис. 2). С внедрением «Пайсисов» институт океанологии вышел на мировой уровень проведения глубоководных исследований океана. В 1980-е гг. были выполнены работы в Красном море, где «Пайсис XI» впервые в мире погружался в горячие рассолы донных впадин Атлантик и Вальдивия [24]. В 1985–1986 гг. оба «Пайсиса» проводили глубоководные исследования на гидротермальных полях хр. Хуан де Фука и Гуаймас (Калифорнийский залив), а также на метановом сипе в Охотском море – в районе о. Парамушир. В этих экспедициях наши учёные впервые увидели через иллюминаторы аппаратов чёрные дымы, журчащие воды, поселения бактериальных матов на метановых сочениях. С вводом в строй ГОА «Мир-1» и «Мир-2» (глубина 6000 м) в 1987 г. российским учёным стали доступны все районы Мирового



Рис. 3. ГОА «Мир-1» и «Мир-2» на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш»

океана с гидротермальными полями (рис. 3). В течение двух десятилетий «Миры» работали на 23 гидротермальных полях Мирового океана (рис. 4), причём на некоторых из них неоднократно, что дало возможность проследить динамику развития полей во времени.

Лишь три года (1988–1990) «Миры» работали полностью по научным программам, а после прекращения бюджетного финансирования на проведение научных исследований пришлось искать контрактные работы за рубежом. В течение почти 20 лет «Миры» трудились по контрактам, снимая глубоководные фильмы, проводя научные исследования с зарубежными учёными, выполняя специальные технические операции на больших глубинах и др. Во всех этих экспедициях на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» находилась группа учёных в составе 12–15 человек, проводившая научные исследования и в районах контрактных работ, и на гидротермальных полях, которые обычно включались в программу рейсов по договорённости с партнёрами. Во всех экспедициях группу учёных возглавлял известный российский геолог профессор Юрий Александрович

Богданов, который начиная с наших первых погружений в «Пайсисах» был бессменным членом команды подводных наблюдателей. В состав команды вначале входили Лев Павлович Зоненшайн, Александр Петрович Лисицын, Михаил Иванович Кузьмин. Эта «звездная четвёрка» положила начало новому направлению геологических исследований океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов в нашей стране. О значении ГОА для геологических исследований Л.П.Зоненшайн, выйдя из аппарата после погружения, прекрасно сказал: «Я теперь не представляю исследований океанского дна без обитаемых аппаратов. Сегодня я себя чувствовал так, как будто иду маршрутом с киркой где-то на Алтае!» А это было на глубине 3600 м на ТАГе (Транс-Атлантический Геотраверз)!

Наибольший объём исследований на гидротермальных полях был проведён с помощью ГОА «Мир». Они могли погружаться практически в любой точке Мирового океана, исключая желоба и впадины, занимающие всего 2% площади дна океана; глубина некоторых из них превышала 6000 м. Главное преимущество ГОА «Мир» перед зарубежными



Рис. 4. Карта гидротермальных полей на дне океана:

звёздочками обозначены поля, на которых работали ГОА «Миры» и «Пайсисы»

аналогами – большая ёмкость аккумуляторов, вдвое превышающая энергоресурс других шеститысячников (см. таблицу). Это даёт возможность находиться под водой и проводить исследования гораздо дольше: до 20 часов и более по сравнению с 8–10 часами других аппаратов. Кроме того, «Миры» являются экологически чистыми аппаратами, так как балластировка ГОА обеспечивается морской водой: утяжеление – приёмом воды в прочные балластные сферы и облегчение – путём откачки воды из этих сфер. Такая конструкция даёт возможность «Мирам» регулировать плавучесть в широких пределах, зависеть на любой глубине, регулировать плавучесть при работе у грунта и отборе образцов и др. В то же время зарубежные аппараты для их всплытия сбрасывают твёрдый балласт: либо чугунные грузы, либо мешки с песком и др. ГОА «Мир» оборудованы широким комплексом измерительных датчиков, данные измерений которых регистрируются непрерывно в течение всего погружения. Отбор образцов осуществляется с помощью манипуляторов с семью степенями свободы, а также с помощью инструментов, которые берутся в манипуляторы: геологические трубки для

отбора проб осадков, титановые батометры для отбора горячего флюида из курильщиков, специальные устройства для отбора бактериальных матов, сачки для отбора животных и др. Кроме того, имеется всасывающий пробоотборник для отбора животных в сменные стаканы (5 штук по 2 литра каждый). Навигационная привязка под водой обеспечивается системой гидроакустической навигации по донным маякам, определяющей место положения аппарата с точностью до первых метров. Главная (обитаемая) сфера диаметром 2,1 м рассчитана на погружение трёх человек. Первоначально в состав экипажа входили командир аппарата – пилот, бортиженер и научный наблюдатель. Позже, при переходе в режим научно-коммерческих погружений (после 1990 г.) все операции с аппаратом легли на плечи пилота, так как в погружении участвовали два наблюдателя. На этом этапе пилоту приходилось выполнять разного рода операции, требующие участия двух специалистов, иногда в аппарате погружались специалист и наш учёный. В таких погружениях контрактные работы сочетались с научными исследованиями. В некоторых экспедициях работы с ГОА

«Мир» сочетались с поисковыми операциями, проводившимися с помощью буксируемого аппарата «Звук». Это позволило обнаружить на дне реликтовую постройку Мир (названа в честь ГОА), которая затем была обследована ГОА «Мир».

Применение ГОА «Пайсис», а затем внедрение «Миров» дали возможность создать в институте океанологии РАН новое направление исследований, позволившее проводить изучение океана с высокой степенью достоверности и детальности. Благодаря этому Россия вошла в лидирующую группу стран, проводящих исследования океана на самом современном уровне.

Гидротермальные поля на дне океана. В настоящее время открыто более 100 районов с гидротермальными полями на дне океана (см. рис. 4). Учёные ИО РАН работали в 23 районах. Причём эти исследования охватили основные типы гидротермальных излияний, известных в настоящее время. На некоторых гидротермальных полях «Миры» были первыми обитаемыми аппаратами, из иллюминаторов которых учёные впервые увидели уникальные явления выхода флюидов из недр океанической коры и необычный животный мир.

На основании многолетних исследований гидротермальных излияний и сопряжённых с ними геологических отложений эти источники можно разделить на следующие группы:

1. Гидротермальные проявления в осевых частях океанических рифтов:

- рифты низкоспрединговых хребтов;
- рифты высокоспрединговых хребтов.

2. Проявления, связанные с «аномальными» краевыми уступами внутреннего рифта и, возможно, с трансформными разломами. Сюда относятся формации глубинных циркуляционных систем.

3. Проявления, связанные с рифтами задуговых бассейнов.

Помимо названных групп, могут быть рассмотрены варианты, когда поднимающиеся к поверхности дна гидротермальные растворы разгружаются, проходя мощную осадочную толщу (например, бассейн Гуаймас). Кроме этого, имеются гидротермальные образования, которые накапливаются в глубоководных впадинах, заполненных придонным высокоминерализованным рассолом. Типичными представителями таких образований являются впадины Красного моря Атлантис-II и Вальдивия, в которые в 1980 г. погрузился «Пайсис XI».

Как уже отмечалось, аппараты «Мир» и «Пайсис» проводили исследования во всех типах гидротермальных излияний. Рассмотрим некоторые из них.

Гидротермальные проявления в районах низкоспрединговых хребтов. Гидротермальное поле ТАГ.

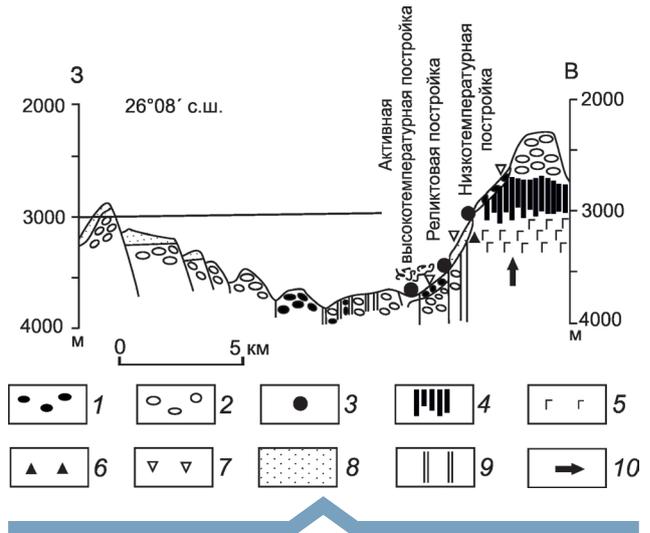


Рис. 5. Поперечный разрез через рифт САХ по 26°08'с.ш.:

1 – молодые лавы; 2 – более древние лавы; 3 – гидротермальные отложения; 4 – дайки; 5 – габбро; 6 – зеленокаменные метаморфиты; 7 – осыпь; 8 – рыхлые осадки; 9 – гьяры; 10 – направление вертикального воздымания блока океанической коры

Срединно-Атлантический хребет. Напомним, что первое гидротермальное поле на Срединно-Атлантическом хребте было открыто в 1985 г. и обследовано с помощью ГОА «Алвин» в 1986 г. в экспедиции, возглавляемой Питером Рона [28]. В настоящее время это одно из наиболее исследованных гидротермальных полей спрединговых хребтов. Только аппараты «Мир» работали на этом поле в разные годы четыре раза. Первая экспедиция в район исследований состоялась весной 1988 г., практически сразу после постройки аппаратов. В этой экспедиции было изучено общее положение поля ТАГ и главным образом высокотемпературного холма с чёрными дымами. В следующей экспедиции 1991 г. принимал участие Питер Рона, в погружении с которым мы провели детальное исследование реликтовых построек. В последующих двух экспедициях изучались детали строения рифта и находящегося на нём поля.

Главной морфологической особенностью рифтовой зоны ТАГ является её резкая асимметрия. Рифтовая долина образована на западе многоступенчатой системой краевых сбросовых уступов, образующих подобие сбросовой лестницы, высота которой составляет примерно 1000 м. Западный склон сложен базальтами, образцы которых были подняты с помощью ГОА «Мир», а также путём драгирования (рис. 5).

На востоке рифтовая долина представляет собой мощный горный массив, превышающий западный

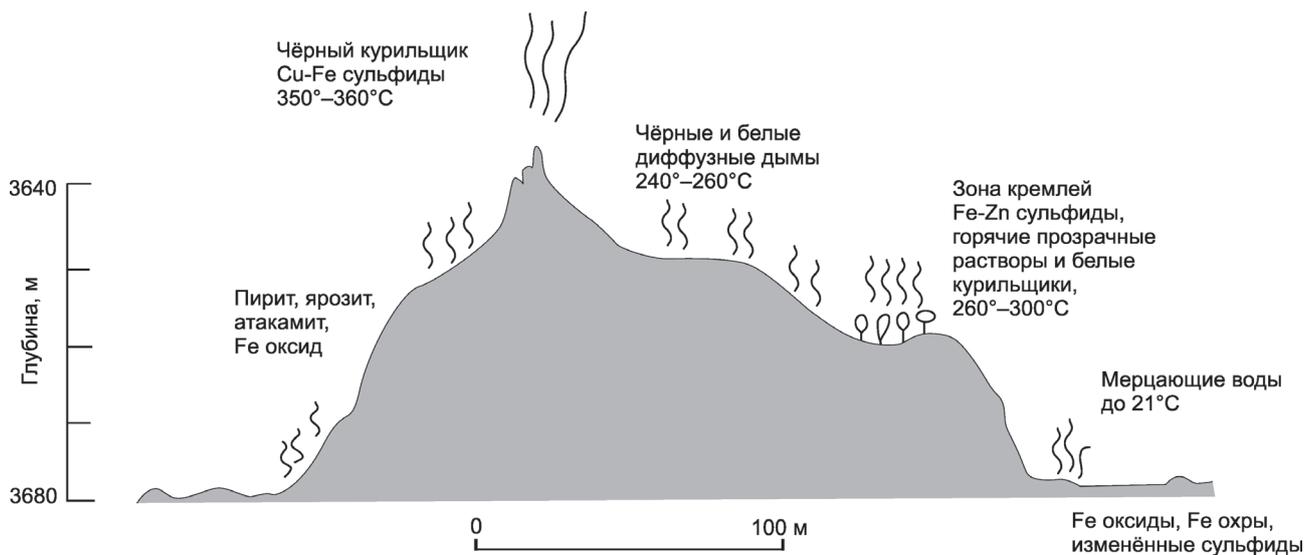


Рис. 6. Поперечный разрез через активную гидротермальную постройку поля ТАГ (Mills, 1995)

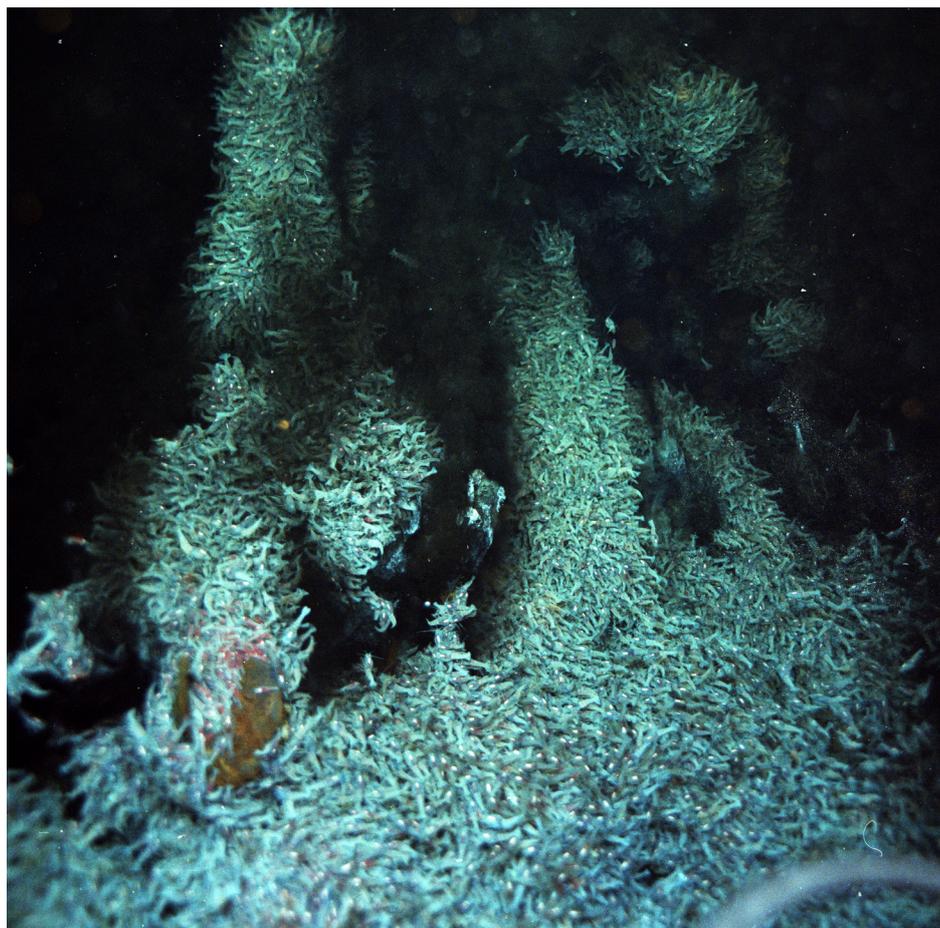


Рис. 7. Чёрные курильщики на главной активной постройке поля ТАГ. Рои креветок Римикарис



Рис. 8. Зона кремлей в юго-восточной части цоколя главной постройки поля ТАГ

краевой уступ на 1000 м. На восточном склоне рифта обнаружено три группы гидротермальных проявлений: активная высокотемпературная гидротермальная постройка, цепочка реликтовых высокотемпературных построек и низкотемпературные образования.

Активная высокотемпературная постройка представляет собой усечённый конус диаметром у основания около 200 м и высотой 30 м, который служит цоколем для вершинной конической части диаметром около 40 м у основания и 15 м высотой. Как на поверхности конуса, так и на прилегающих частях цоколя наблюдаются многочисленные трубы высотой до 10 м и диаметром до 3 м, через которые проходит разгрузка высокотемпературных рудоносных растворов или флюидов – «чёрных курильщиков» (рис. 6) с максимальной измеренной температурой 338°C (рис. 7). Во время погружений «Алвина» была зафиксирована температура 366°C [15]. Здесь развиты в основном сульфидные отложения медной специализации с примесью ангидрита [1]. У подножья конической постройки наблюдаются низкотемпературные выходы прозрачных вод и чёрных тёплых флюидов (тёплые чёрные курильщики с температурой около 100°). Также широко развиты сульфидные отложения с высоким содержанием ангидритов. На некотором удалении от верхней кони-

ческой постройки поверхность цоколя слагают сульфидные рудопроявления медной и цинковой специализации. В юго-восточной части цоколя находится зона «кремлей», получившая название по форме построек, напоминающих церковные строения Суздаля или других древних городов (рис. 8). Это активные белые курильщики с температурой разгружающихся температурных растворов 200°–300°C. Высота этих курильщиков 1–2 м. Внешний крутой (около 30°) склон цоколя сложен отдельными блоками сильно изменённых сульфидных отложений.

Методы изотопного датирования [21] показали, что формирование массивных сульфидов началось 40–50 тыс. лет назад. По последним оценкам, запасы гидротермального вещества в активной высокотемпературной постройке составляют примерно 4 млн. т. Если принять продолжительность формирования залежи 40–50 тыс. лет, то скорость наращивания рудной залежи составляет примерно 100 т в год. Однако многочисленными исследованиями и расчётами установлено, что гидротермальное рудообразование происходило не непрерывно, а циклично. Причём гидротермальное рудообразование чередовалось с возрастанием вулканической деятельности. Если принять, что эти процессы во времени занимали равные периоды [4], то скорость наращивания сульфидных



Рис. 9. Склон реликтовой постройки Мир

руд во время гидротермальных циклов составила 200 т в год. Выходящий на поверхность дна высокотемпературный раствор обладает высокой плавучестью. На поле ТАГ при температуре раствора около 360°C скорость его выхода превышает 1 м/с [15]. При подъёме вверх лёгкий раствор смешивается с океанской водой, где часть гидротермального вещества переходит в твёрдую фазу в виде взвеси. Это, прежде всего, сульфиды железа, меди и цинка, сульфаты бария и кальция и др. При погружении аппарата наблюдатель через иллюминатор видит такой гидротермальный раствор, как чёрный дым. Поэтому такие активные гидротермальные трубы получили название «чёрные курильщики». Частицы металлов в этих дымах имеют размеры от 10 мкм до 500 мкм [16]. По мере подъёма раствор постепенно теряет плавучесть из-за его смешивания с водой и, достигая состояния нейтральной плавучести, зависает на определённой глубине. Эта восходящая часть гидротермального факела получила название всплывающего плюма. Размеры плюма определяются высотой

подъёма взвешенных частиц, которая ограничивается их размером. Более крупные и тяжёлые частицы уже на первых десятках метров от дна покидают восходящий поток и осаждаются на дно. И только самые мелкие частицы размером около 50 мкм поднимаются до высоты 200 м. Эта новая водная масса, образовавшаяся в результате смешения гидротермального раствора и океанической воды, «зависает» в водной толще в виде нейтрального плюма над гидротермальным полем. Гидротермальный плюм отличается от окружающих вод по целому ряду гидрофизических и геохимических параметров и является хорошим ориентиром при поиске гидротермальных излияний на дне.

Зоны активных гидротермальных излияний сопровождают поселения креветок, плотным ковром покрывающих обширные поверхности между чёрными дымами, журчащими водами и др. (рис. 9). Креветки рождаются и живут за счёт хемосинтеза. Они являются типичными и преобладающими животными на гидротермальных полях САХ. В настоящее время открыто 9 видов гидротермальных креветок. Один из видов – *Mirocaris* – открыт учёным ИО РАН А.Л.Верещакой и назван в честь ГОА «Мир».

Реликтовая высокотемпературная постройка Мир. В нижней части восточной стенки поля ТАГ на глубине 3400–3600 м с помощью подводного фотографирования обнаружены обширные поля реликтовых построек, которые были объединены в две зоны: Мир и Алвин в соответствии с приоритетами их обследования с помощью аппаратов «Мир» (1988, 1991 и 1994 гг.) и «Алвин» (1990 и 1993 гг.) [2]. Эти реликтовые гидротермальные постройки были образованы также высокотемпературными растворами. Самая крупная реликтовая постройка – гора Мир – получила название в честь ГОА «Мир» так же, как и вся группа построек этой зоны. Первое обследование горы Мир было произведено в 1991 г. на ГОА «Мир-2» с участием Питера Рона и Юрия Богданова. Тогда аппарат погружался с двумя наблюдателями. Гора Мир расположена в одной миле к северо-востоку от активной постройки. Диаметр постройки у основания более 700 м, высота около 70 м. На склонах и в верхней части постройки обнаружен целый лес вертикально стоящих и поваленных сульфидных труб, размер которых увеличивается от периферии к центру по высоте от 1 до 10–15 м (см. рис. 9). Среди большинства поднятых на борт судна аппаратами «Мир» образцов сульфидов наиболее часты отложения медной специализации. Распределение редких элементов в сульфидах активной и реликтовой постройки Мир сходно. Высокотемпературные сульфидные отложения медной специализации

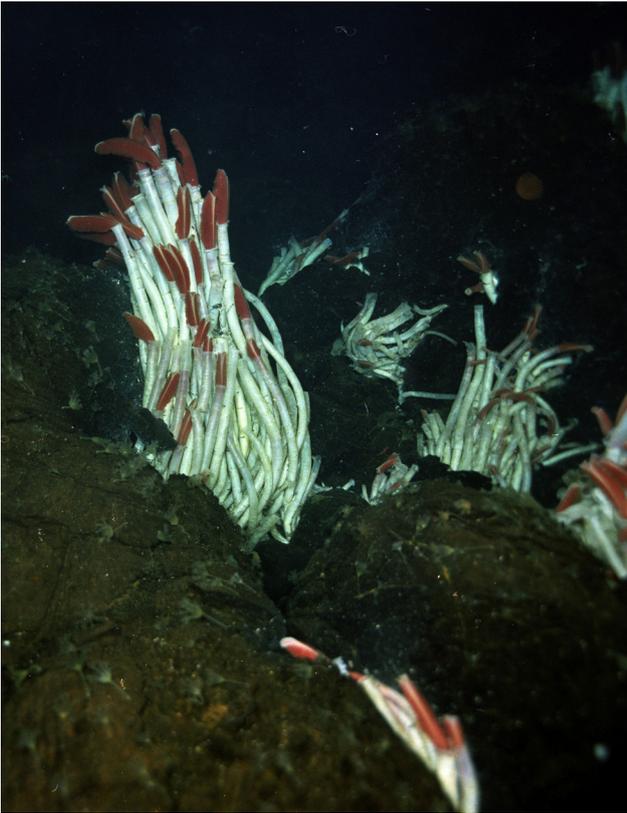


Рис. 10. Скопление вестиментифер *Riftia pachyptila* в местах выхода муаровых вод через трещины в базальтах

обогащены Cu, Co, Sn и Bi, что отличает их от сульфидных отложений других типов. Для среднетемпературных отложений цинковой специализации характерны максимальные содержания Zn, Pb, Ag, Cd, Sb, As и Hg. В низкотемпературных гидротермальных отложениях по сравнению с другими разностями наблюдаются более высокие концентрации Si, Fe, Mn и Mo. Наши измерения и расчёты показывают, что объём гидротермального вещества в массивных залежах реликтовой постройке Мир составляет около 10 млн. т [3]. На сегодняшний день это самое крупное гидротермальное рудное образование на дне Мирового океана.

Гидротермальные проявления высокоспредиговых хребтов. Главной геологической структурой, которая относится к высокоспредиговым хребтам, является Восточно-Тихоокеанское поднятие. Этот район характеризуется высокой скоростью спрединга: от 6,2 см/год на 21°с.ш. [22] до 14–20 см/год в более южных районах [27]. В связи с этим интенсивность вулканизма, гидротермальной деятельности и наращивания океанической коры достигают самых высоких значений. Погружения ГОА «Мир» совершались

в двух районах: на 9°с.ш. и на 21°с.ш. Гидротермальные источники на ВТП были открыты в 1978–1979 гг. на 21°с.ш. во франко-американской экспедиции [14]. Аппараты «Мир» в этом районе работали дважды: в 1990 и 2003 гг. [29]. Наиболее детальные исследования этого района ВТП были проведены с «Мирами» в 2003 г. во время съёмок фильма «Aliens of the deep» Джеймсом Кэмероном. Научные исследования чередовались с киносъёмочными погружениями. На основании этих исследований и литературных данных, основанных на изучении района 21°с.ш., кратко рассмотрим особенности гидротермальной деятельности данного района. Основу осевой части рифта составляет рифтовая долина шириной около 5 км, обрамлённая сбросовыми уступами высотой порядка 80 м относительно ложа рифта [10]. Осевую часть рифта занимает молодая вулканическая зона шириной от 0,6 до 1,2 км, в пределах которой выделяются вулканические образования высотой от 20 до 90 м. Гидротермальные проявления сосредоточены в рифтовой долине и тяготеют к отдельным поднятиям, являвшимся центрами недавней магматической активности. В погружении ГОА «Мир-1» в 2003 г. было детально обследовано поле Clam Field. Основанием поля является базальтовая площадка интенсивного чёрного цвета. Через трещины в базальтах высачивается низкотемпературный раствор, местами высачивание идёт в виде муара (рис. 10). Гидротермальные постройки расположены прямо на базальтовом основании, в северной части поля их подпирают невысокие (2–4 м) доколи, сложенные корковыми сульфидами. Горячие истечения (чёрные и белые курильщики) приурочены к вершинам построек. Всего было обследовано семь построек. Примерно в 500 м к западу от этого активного поля обнаружены реликтовые сульфидные постройки высотой около 10 м и около 8 м в диаметре. Возраст этих образований был определён радиометрическим методом, он равен 4000 лет [20]. По соотношению основных сульфидных минералов в данном районе могут быть выделены две разности сульфидных отложений: пирит-сульфиды цинка (цинковая специализация) и пирит-сульфиды меди (медная специализация). Как известно, частота встречаемости гидротермальных проявлений количественно связана со скоростью спрединга и достигает максимальных значений в рифтах высокоспредиговых хребтов. Расчёты, выполненные Е.Г.Гурвичем [6], показали, что в пределах рифтов ВТП поступление железа в придонную воду с гидротермальными растворами более чем в 250 раз превышает поступление этого элемента в рифты низкоспредиговых хребтов, в частности, в пределах гидротермального поля ТАГ.

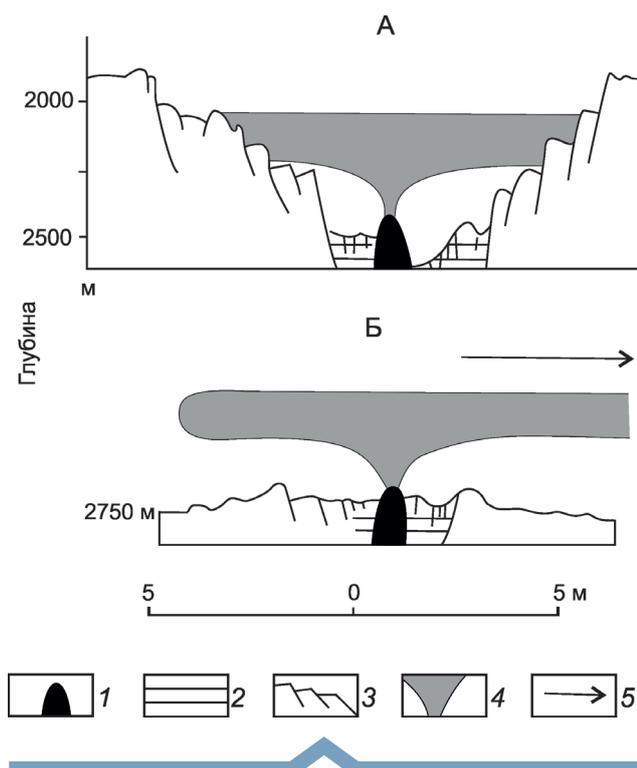


Рис. 11. Положение нейтрального гидротермального плюма относительно внутреннего рифта, рифтов с разными скоростями спрединга. Е.Г.Гурвич, 1998:

А – Срединно-Атлантический хребет, 37°с.ш., скорость спрединга 2,5 см/год; Б – Восточно-Тихоокеанское поднятие, 21°с.ш., скорость спрединга 6 см/год; 1 – неовулканическая зона; 2 – внутренний рифт с условиями растяжения; 3 – краевые тектонические уступы; 4 – гидротермальный плюм; 5 – возможное направление придонных течений

Однако эффективность рудоотложения в гидротермальных полях рифтов высокоспрединовых хребтов, очевидно, не выше, чем в низкоспрединовых хребтах. В работе [13] определена величина потерь гидротермального вещества, выносимого гидротермальными растворами из океанической коры в Тихом океане. При этом отложения в массивные залежи составляют всего 3% взвеси, выносимой гидротермальными растворами, а 97% рассеиваются в придонной воде. Такое рассеяние гидротермального материала в высокоспрединовых рифтах объясняется различиями в рельефах внутреннего рифта с низкоспрединовыми хребтами (рис. 11), в которых рифтовая долина ограничена краевыми уступами высотой значительно больше 500 м. Поэтому гидротермальный плюм нейтральной плавучести не выходит за пределы внутреннего рифта, а распространяется вдоль его оси, и основная масса гидротермального вещества, содержащегося в плюме, переходит в дон-

ные осадки рифтовой долины. В пределах высокоспрединовых хребтов гидротермальный плюм поднимается значительно выше обрамляющих рифт краевых уступов. Следовательно находящееся в плюме гидротермальное вещество может разноситься глубинными течениями на довольно большие расстояния. Именно поэтому металлоносные осадки, аномальность которых связана с поступлением гидротермального вещества из плюма, вдоль ВТП занимают огромные площади. Средняя ширина области распространения металлоносных осадков в юго-восточной части Тихого океана превышает 2000 км, а максимальная величина составляет 3500 км. По составу металлоносных осадков, а также по процентному содержанию в них металлов и других химических элементов можно судить об интенсивности гидротермальных излияний и о степени удалённости изучаемого района от гидротермальных источников.

Сходство и различие гидротермальных проявлений высоко- и низкоспрединовых хребтов. Выше рассмотрено два района, в которых наиболее ярко выражены особенности высоко- и низкоспрединовых хребтов: 21°с.ш. ВТП и поля ТАГ (Транс-Атлантический Геотраверз) Срединно-Атлантического хребта (26°с.ш.). Изложенный материал и анализ литературных источников даёт возможность провести некоторые сравнения двух гидротермальных систем, отличающихся скоростью спрединга, а также своим географическим положением.

1. Высокоспрединовые хребты отличает очень высокая частота встречаемости гидротермальных построек по сравнению с низкоспрединовыми. В рифтах высокоспрединовых хребтов местами на 1 км рифта приходится по 10–15 источников. В то же время на участке Срединно-Атлантического хребта длиной 25 000 км (11°–40°с.ш.) присутствует примерно одно гидротермальное поле на каждые 175 км.

2. Гидротермальные излияния высокоспрединовых хребтов имеют небольшой возраст. Основываясь на всех известных материалах, можно заключить, что ни одна из гидротермальных построек ВТП не старше 1000 лет. Здесь нет поля, подобного ТАГ, где одна активная гидротермальная постройка, занимающая большую часть поля, формировалась бы в течение 50–100 тыс. лет.

3. На ВТП исследователями не было встречено массивных гидротермальных залежей, где вес рудных массивов отдельных построек составляет 4–10 млн. т, как в районе ТАГ, в котором огромной массой гидротермального вещества отличаются и активные, и реликтовые постройки. Постройки высокоспрединовых хребтов по своим размерам напоминают молодые поля низкоспрединовых хребтов типа Брокен Спур

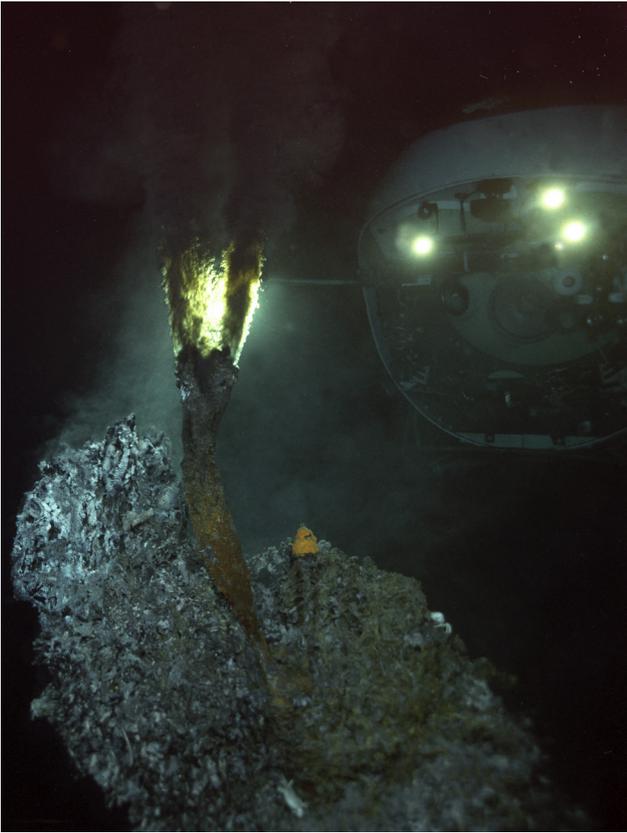


Рис. 12. Активная гидротермальная постройка на 21°с.ш. ВТП

САХ. Как уже отмечалось, они активно живут не более 1000 лет. Были проведены интересные наблюдения на 21°с.ш. В сентябре 1990 г. в ГОА «Мир-1» исследователи вышли на очень красивую постройку (рис. 12) высотой около 18 м. На её вершине из сульфидной трубы в виде рогатки выходил на большой скорости горячий флюид. Два аппарата «Мир» зависли друг напротив друга по разные стороны постройки и сделали прекрасное фото (см. рис. 12). Дно было обильно населено двусторчатыми гигантскими моллюсками *Caliptogena magnifica* и «кустами» вестиментифер *Riftia pachyptila*. Это был незабываемый оазис жизни... Спустя 13 лет, в 2003 г. мы вышли на то же поле, но уже не дымящее и не кипящее обилием гидротермальной фауны. Позднее был определён возраст отобранных на этом поле сульфидов, который оказался немногим более 300 лет.

Гидротермальные проявления в океанических рифтах с глубинной циркуляционной системой. В 1993–1994 гг. на 14°45'с.ш. САХ учёными ВНИИОкеангеология (Санкт-Петербург) с НИС «Профессор Логачев» было открыто новое активное гидротермальное поле, существенно отличавшееся от всех

выявленных ранее. В этой экспедиции поле было закартировано с помощью эхолота и буксируемого аппарата, оборудованного видеокамерой, а на борт судна были подняты образцы гидротермальных отложений, в том числе массивные сульфиды.

В 1995 г. в 35 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» на этом поле были сделаны два погружения ГОА «Мир-1» и «Мир-2», а также зондирование водной толщи с помощью гидрофизического комплекса «Розетт» и опробование донных осадков грунтовой трубкой. В 1998 г. «Миры» совершили ещё четыре погружения на этом поле уже с конкретными задачами, основанными на результатах проведённых ранее исследований. Визуальные наблюдения через иллюминаторы, анализ отобранных с помощью манипуляторов образцов пород, осадков, флюидов из горячих гидротермальных источников (чёрных курильщиков), просмотр видеозаписей, анализ измерений с помощью датчиков, установленных на аппаратах, позволили получить довольно полное представление о природе этого необычного поля.

Следует отметить, что в отличие от большинства гидротермальных полей, расположенных в осевых частях рифа, поле Логачева (название дано по имени судна – первооткрывателя) находится на склоне восточного краевого уступа рифтовой долины (рис. 13). Если западный склон рифта образован системой сбросовых уступов, присыпанных рыхлыми пелагическими осадками, то восточный склон, на котором

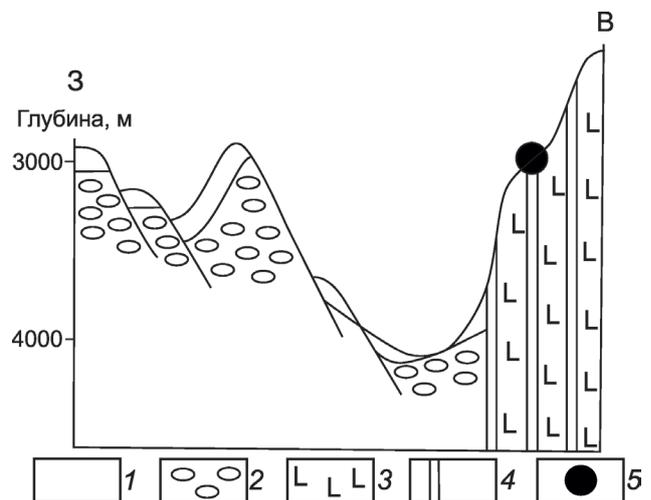


Рис. 13. Поперечный разрез рифтовой долины в районе поля Логачева на 14°45'с.ш. САХ:

1 – рыхлые осадки; 2 – экструзивные базальты; 3 – серпентинизированные ультрабазальты; 4 – вертикальные глубинные разломы; 5 – активное гидротермальное поле

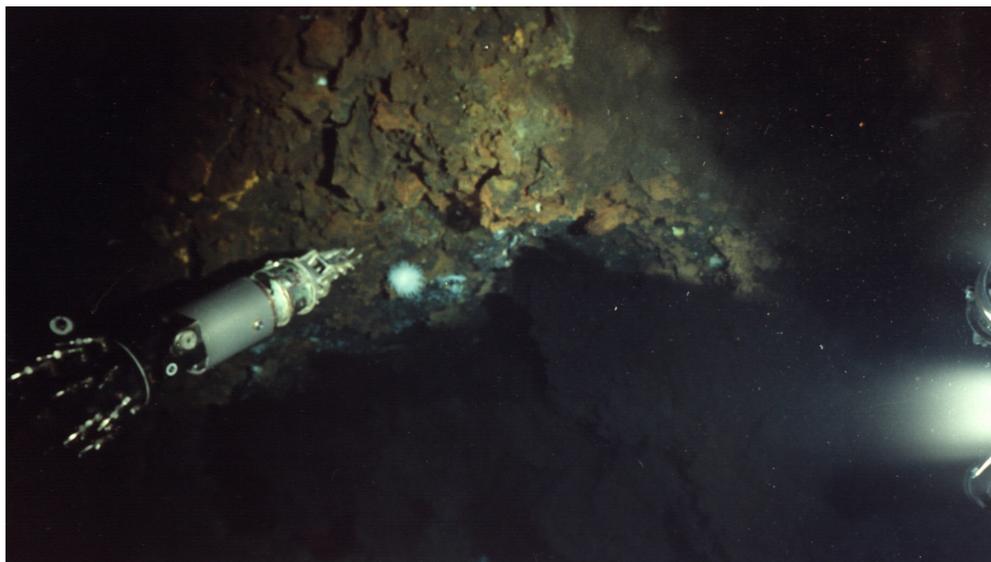


Рис. 14. Чёрный курильщик кратерного типа на поле Логачева, глубина 3005 м

находится поле Логачева, представляет собой довольно протяжённый крутой уступ, приподнятый блок океанической коры, в пределах которого на поверхность выходят глубинные кристаллические породы (габброиды).

Первоначально при обследовании с помощью буксируемого аппарата на поле обнаружено 11 гидротермальных построек [19]. С помощью ГОА «Мир» было детально обследовано четыре из них. Визуальные наблюдения, отбор образцов коренных пород, осадков и горячих флюидов из «курильщиков» дал возможность составить определённое представление о природе этого поля и его отличий от других полей, расположенных в осевой зоне САХ. Наиболее детально была обследована самая крупная гидротермальная постройка овальной формы. Её длина около 200 м, ширина 125 м и высота около 20 м. Постройка протягивается с глубины 3010 м до 2930 м вверх по склону в юго-восточном направлении. В её осевой части на глубинах 3005, 2960 и 2940 м обнаружены три активных гидротермальных зоны, по периферии которых отмечаются выходы тёплых мерцающих вод. На поверхности дна здесь имеются конические бурые постройки высотой 10–15 см кремнисто-железистого состава. На глубинах 3005 м и 2960 м обнаружены высокотемпературные чёрные курильщики, из которых флюид выходит не через сульфидные трубы, а из понижений рельефа в виде воронок (рис. 14). Эти источники получили название кратерных, в отличие от классических, из которых флюид под большим напором движется из сульфидных

труб вертикально вверх. Из кратерных курильщиков чёрный дым (флюид) выходит на поверхность дна и перемещается донными течениями горизонтально или даже вниз по склону в виде «стелящихся дымов». Это явление позволило сделать вывод о высокой плотности флюида. И действительно: непосредственные замеры солёности воды вблизи курильщиков, где она сильно смешана с первичным флюидом, показали величину 36,24 psu при фоновых значениях 35,04 psu.

Классические чёрные курильщики, наблюдавшиеся на глубине 2940 м, выносили флюид через вертикально стоящие сульфидные трубы высотой около 3 м и диаметром 0,5–0,8 м. Здесь флюид обладает высокой плавучестью и устремляется вертикально вверх (рис. 15).

Во время погружений «Миров» в 1995 и 1998 гг. было отобрано около 30 образцов геологических пород, главным образом сульфидов, а также железомарганцевых гидротермальных корок. Анализ сульфидов показал явно выраженную медную специализацию: средняя концентрация (в %): меди – 28,6 (от 8,3 до 35,5), цинка – 7,85 (0,01–8,7), железа – 28,6 (15,8–36,2) [2]. При сравнении состава сульфидов поля Логачева с другими полями САХ выясняется существенно более высокая обогащённость первых медью, цинком, барием, кобальтом и мышьяком. Высокое насыщение гидротермальных отложений этими металлами объясняется тем, что гидротермальный флюид формируется в глубинных слоях океанической коры, на границе с верхней мантией земли. Преодолевая длинный путь к поверхности дна,



Рис. 15. Сульфидная труба классического курильщика с поселениями моллюсков *Bathymodiolus* на поле Логачева, 2940 м

флюид многократно сепарируется и выходит на поверхность существенно уплотнённым, чем и объясняется его высокая солёность, измеренная с помощью датчиков «Миров». Самая большая гидротермальная постройка содержит около 0,8 млн. т гидротермального вещества. Гидротермальная деятельность продолжается около 60 млн. лет [21]. Скорость наращивания гидротермального вещества составляет около 14 тонн в год, то есть более чем на 1,5 порядка ниже, чем в гидротермальных полях осевых гидротермальных циркуляционных систем САХ [1]. У подножья одной из активных построек была получена колонка донных осадков длиной 241 см. Исходя из определённых средних скоростей осадконакопления на основании радиоуглеродного датирования можно предположить, что максимальный возраст осадков данного района составляет 25–30 тыс. лет (Ю.А.Богданов и др., 2006). Состав литогенных минеральных фаз донных осадков может свидетельствовать о характере пород фундамента, окружающих гидротермальную постройку. Главным минералом грубозернистых фракций осадка является серпентин, что указывает на присутствие в районе обнажений серпентинитов или серпентинизированных глубинных пород.

Гидротермальное поле Рейнбоу было открыто в июле 1997 г. во время погружений французского ГОА «Наутил» [12]. Поле расположено на 36°с.ш. САХ на западном склоне осевого поднятия на глубинах 2270–2320 м. В октябре 1998 г. в 41 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» было проведено 6 погружений ГОА «Мир-1» и «Мир-2», а также

выполнен большой объём заборных работ. В погружениях «Миров» было проведено картирование поля, которое позволило обнаружить более 10 активных и множество реликтовых построек (рис. 16). Поле имеет длину 250 м и ширину около 100 м. Оно расположено перпендикулярно простиранию рифта. Наиболее крупные активные постройки расположены в центре поля, ближе к его западной границе. Высота их составляет 12–20 м, диаметр у основания – 5–10 м. Массивные цоколи представляют собой сросшиеся вместе вертикальные трубы (рис. 17). Крутые склоны этих построек покрыты «лесом» гидротермальных труб, высота которых на вершинах постройки достигает 4–6 м. Другой тип построек высотой до 40 м имеет цоколи высотой около 20 м, которые сложены обломками массивных сульфидных отложений. В разных местах этих построек обнаружены сульфидные трубы высотой 1–2 м, некоторые из которых активны, из них выходит чёрный дым (флюид) (рис. 18). С помощью «Миров» поднято большое количество образцов: фрагменты активных и реликтовых труб, массивные сульфиды и их обломки из цоколей. Все образцы покрыты железистой коркой толщиной от 1 до 10 мм. В одном из погружений на западной границе гидротермального поля ГОА «Мир-1» отобрал образец серпентинита. Анализы химического состава образцов показали, что в пределах поля Рейнбоу, преобладают рудопроявления медной и медно-цинковой специализации, существенно обогащённые кобальтом (до первых процентов). Этот факт выделяет

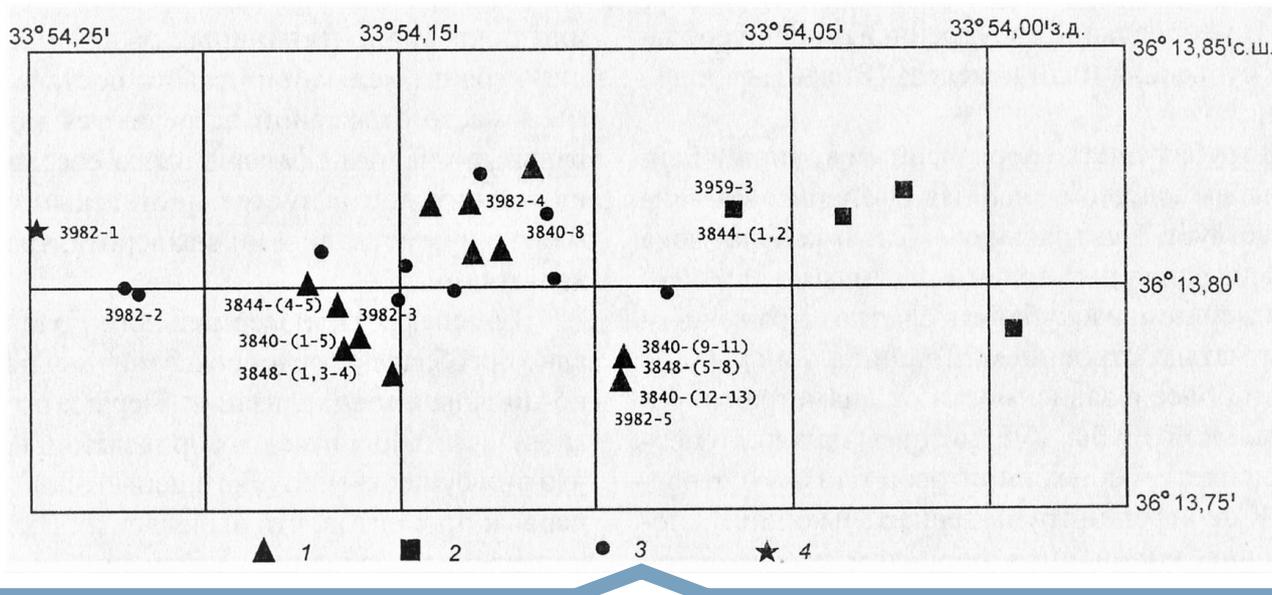


Рис. 16. Карта гидротермального поля Рейнбоу (закартировано ГОА «Мир»):

1 – большие активные гидротермальные постройки; 2 – небольшие активные курильщики; 3 – реликтовые постройки; 4 – место отбора пробы серпентинита; цифрами указаны места отбора проб гидротермальных отложений



Рис. 17. Цоколь центральной гидротермальной постройки поля Рейнбоу

поле Рейнбоу среди большинства исследованных полей мировой рифтовой системы и сближает его с полем Логачева (14°45'с.ш. САХ). При погружениях ГОА «Мир» было отмечено, что на поле Рейнбоу, так же как и на поле Логачева, развиты два типа чёрных курильщиков: с флюидами, обладающими высокой плавучестью, формирующими всплывающий плюм, и с гидротермальными растворами, распространяющимися вниз по склону. Как и на поле Логачева эти два типа флюидов значительно отличаются по солёности. При этом в чёрных курильщиках с большой частотой чередуются струи то более солёных, то более опреснённых растворов относительно вод придонного слоя. Это явление, очевидно, является следствием фазовой сепарации высокотемпературного гидротермального флюида в океанской коре вблизи поверхности. На одном из курильщиков с помощью автономного термометра в течение 20 минут измерялась температура термальных вод с дискретностью в 1 минуту. В течение этого времени она изменялась от 250° до 348°С. Такая изменчивость температуры может быть объяснена только тем, что в подповерхностных условиях наряду с фазовой сепарацией гидротермального флюида происходит его смешение с холодной океанской водой, проникающей в кору по трещинам.

Поскольку из многочисленных источников на поверхность дна выходит гидротермальный раствор с незакономерно меняющейся солёностью, а, соответственно, и плавучестью, над полем Рейнбоу нет

устойчивого гидротермального плюма, который присутствует на большинстве гидротермальных полей мировой рифтовой системы. Измерения с помощью гидрофизического зонда «Розетт» и с помощью датчиков ГОА «Мир» при погружениях и всплытиях аппарата показали, что над полем Рейнбоу наблюдается многослойная неустойчивая плюмовая система, в отличие от других гидротермальных полей (ТАГ, Брокен Спур, Снейк Пит и др.), над которыми на определённом расстоянии от дна (150–200 м) в толще воды «парит» устойчивый гидротермальный плюм.

Исследования гидротермальных полей Логачева и Рейнбоу показали их существенное отличие как от высокосрединговых хребтов, так и от осевых низкосрединговых. В высокосрединговых хребтах довольно близко к поверхности дна располагается обширная магматическая камера (1–1,5 км). Поэтому здесь образование гидротермального флюида происходит в кровле магматической камеры при взаимодействии океанической воды, проникающей по трещинам в коре, с изливающимися базальтами или долеритами дайкового комплекса. В этом случае магматическая камера препятствует проникновению океанической воды в глубинные слои океанической коры. Поэтому в высокосрединговых хребтах внутри рифта существование процесса серпентинизации исключено. В то же время в осевых зонах низкосрединговых хребтов вулканические процессы, развивающиеся над локальными магматическими камерами, сменяются длительной тектонической паузой [7], когда камера полностью исчезает. В этот период океаническая вода по трещинам раздробленной коры проникает в её глубинные слои и в верхние части мантии, вследствие чего часть верхнемантийного материала серпентинизируется. Возможная глубина проникновения в кору в рифтовых зонах океана подсчитана теоретически [9]. Она оказалась равной 4,5 км. Глубинная циркуляционная гидротермальная система характерна для низкосрединговых хребтов с расположением полей на склонах краевых уступов рифта, как поля Логачева и Рейнбоу. Здесь океаническая вода достигает верхнемантийных слоёв через океаническую кору, минуя магматическую камеру. Флюид, формирующийся на глубинах 4–5 км, при подъёме к поверхности дна испытывает значительные изменения гидростатического давления, вызывающие его многократную фазовую сепарацию, последняя из которых происходит в самых подповерхностных горизонтах коры. Об этом свидетельствует наличие двух типов чёрных курильщиков с существенной разницей плотности. Фазовая сепарация раствора при подъёме вверх обуславливает его вскипание, что приводит к измене-



Рис. 18. Вершина одной из гидротермальных построек поля Рейнбоу

нию его физико-химических характеристик. Происходит некоторая дифференциация состава выходящего на поверхность раствора, который существенно отличается от состава флюидов других гидротермальных полей районов САХ. Этот факт отражается и на составе гидротермальных отложений полей Логачева и Рейнбоу, имеющих явно выраженную медную и медно-цинковую специализацию. Отложения значительно обогащены кобальтом (до первых процентов), платиной, иногда никелем. Несомненно, поля Логачева и Рейнбоу являются новым, ранее не встречавшимся типом гидротермальных проявлений на дне Мирового океана.

Заключение. Хорошо известно, что развитие современной науки об океане тесно связано с внедрением в практику исследований новых технических средств. Анализ материалов, изложенных в данной статье, показывает, что применение современных ГОА даёт возможность проводить геологические исследования на дне океана на качественно новом

уровне, базирующимся на непосредственном контакте учёного с изучаемым объектом или явлением. Такой подход значительно повышает достоверность исследований, их детальность благодаря прямым визуальным наблюдениям через иллюминаторы, целенаправленному отбору образцов, прицельным видеозаписям и фотографированию. Важную роль при этом играет точная навигационная привязка наблюдений, которая обеспечивается гидроакустической системой навигации с донными маяками.

На основании анализа результатов исследований четырёх районов с гидротермальными полями на дне, приведённых в этой статье, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Обнаружения гидротермальных полей на дне океана, выполненные с помощью ГОА, являются важнейшим открытием XX в. За последние 40 лет в океане открыто более 100 гидротермальных районов, методично изучаемых с помощью ГОА и других технических средств. Это дало возможность учёным подойти вплотную к созданию теории гидротермального рудогенеза дна океана.

2. Было доказано, что высокотемпературные гидротермальные излияния и сопряжённые с ними массивные сульфидные залежи широко развиты в пределах вулканически активных областей дна океана, в частности в зонах срединных океанических хребтов.

3. Установлены закономерности пространственного распределения гидротермальных рудопроявлений и определены причины неоднородности их распределения.

4. Исследованы морфология и размеры гидротермальных залежей, их состав. Установлена связь их состава и физико-химических свойств с геодинамической обстановкой, характером вулканизма и условиями рудоотложения. Обнаружены рудоотложения, по содержанию полезных компонентов и размерам сопоставимые с аналогичными месторождениями, разрабатываемыми на континентах.

5. Изучены минеральная и химическая зональность гидротермальных отложений в пределах гидротермальных полей, выявлены причины этой зональности.

6. Установлены природа гидротермальных высокотемпературных рудоносных растворов, механизм рудоотложения, на базе чего созданы модели формирования гидротермальных рудных залежей.

В настоящее время для исследований геологии дна океана применяются также телеуправляемые и автономные аппараты. Однако эффективность их использования не столь высока, как применение ГОА для этих целей. Следует помнить, что практически все наиболее важные открытия на дне океана сделаны

именно обитаемыми аппаратами, в том числе и ГОА «Мир-1» и «Мир-2».

Однажды Жаку-Иву Кусто при посещении института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (1983 г.) был задан вопрос: «Если бы перед вами стоял выбор о технических средствах исследований океана: обитаемый аппарат или телеуправляемый – что бы вы выбрали?» Кусто ответил: «Никогда ни один робот не заменит человека под водой, так как самый точный оптический прибор – это человеческий глаз и самый совершенный компьютер – человеческий мозг». Эта формула подтверждена многими примерами на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Муравьев К.Г., Сагалевич А.М. Высокотемпературные гидротермальные постройки рифтовой долины // Гидротермальные образования срединного хребта Атлантического океана. – М.: Изд-во «Наука», 1992. – С. 125–154.
2. Богданов Ю.А., А.П. Лисицын, Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. – М.: Изд-во «Наука», 2006. – 527 с.
3. Богданов Ю.А., Рона П.А., Гурвич Е.Г. и др. Реликтовые сульфидные отложения гидротермального поля ТАГ, Срединно-Атлантический хребет (26°с.ш., 45°з.д.) // Океанология. – 1994. – № 34(4). – С. 590–599.
4. Богданов Ю.А., Сагалевич А.М. Геологические исследования с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». – М.: Научный мир, 2002. – 304 с.
5. Галкин С.В., Сагалевич А.М. Гидротермальные экосистемы Мирового океана: исследования с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». – М.: Изд-во ГЕОС, 2012. – 144 с.
6. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. – М.: Научный Мир, 1998. – 340 с.
7. Монин А.С., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П. и др. Подводные геологические исследования с обитаемых аппаратов. – М.: Изд-во «Наука», 1985. – 232 с.
8. Риффо К., Ле Пишон К. Экспедиция «Фамоус». – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 222 с.
9. Сорохтин О.Г. Тепловые потоки через срединно-океанские хребты / Океанология; геодинамика // Под ред. О.Г.Сорохтина. – М.: Изд-во «Наука», 1979. – С. 178–181.
10. Ballard R.D., Francheteau J., Juteau T. et al. East Pacific Rise at 21°N: the volcanic, tectonic and hydrothermal processes of the central axis // Earth and Planetary Sciences Letters. – 1981. – Vol. 55. – № 1. – P. 1–10.
11. Busby R.F. Manned submersibles // Office of NAVY. – 1976. – 764 p.
12. Charlton J.L., Donval J.-P., Donville E. et al. High methane flux between 15°N and Azores Triple Junction Mid-Atlantic Ridge, hydrothermal and serpentinization processes // Eos Transactions American Geophysical Union. – 1977. – Vol. 78. – № 46. – 831 p.

13. *Converse D.R., Holland H.D., Edmond J.M.* Flow rates in the axial hot springs of the East Pacific Rise (21°N): Implications for the heat budget and formation of massive sulfide deposits // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1984. Vol. 69. P. 158–175.
14. CYAMEX scientific team: First manned submersible dives on the East Pacific Rise 21°N (Project Rita): General results // *Marine Geophysical Research.* – 1980. – 189 p.
15. *Edmond J.M., Campbell A.C., Palmer M.R. and German C.R.* Geochemistry of hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: TAG and MARK. *Eos. Trans // American Geophysical Union.* – 1990. – Vol. 71. – P. 1650–1651.
16. *Feely R.A., Lewison M.A., Massoth G.J.* et al. Composition and sedimentation of hydrothermal plume particles from North Cleft segment, Juan de Fuca Ridge // *Journal of Geophysical Research.* – 1994. – Vol. 99. – № B3. – P. 4985–5006.
17. *B.Heezen & C.Hollister* The face of the Deep. N.Y. Oxford Univ. – 1971. – 641 p.
18. *Hot brines* and recent heavy metal deposits in the Red sea. N.Y.Springer Verlag. – 1969. – 600 p.
19. *Krasnov S.G., Cherkashev G.A., Stepanova T.V.* et al. Detailed geological studies of hydrothermal vents and processes. – London, 1995. – № 87. P. 46–64.
20. *Lalou C., Brichet E.* et al. Age and implications on East Pacific Rise sulfide deposits at 21°N // *Nature.* – 1982. – Vol. 300. – № 5888. – P. 169–171.
21. *Lalou C., Reyss J.-L., Brichet E.* et al. Hydrothermal activity on a 105-year scale at a slow-spreading ridge, TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge 26° N // *Journal of Geophysical Research.* – 1995. – № 100. – P. 17855–17862.
22. *Larson R.L.* Near bottom geologic studies of the East Pacific Rise crest // *The Bulletin of the Geological Society of America.* – 1971. – Vol. 82. – P. 823–841.
23. *Mills R.A.* Hydrothermal deposits and metalliferous sediments from TAG, 26° N Mid-Atlantic Ridge // *Geological Society London Special Publications.* – 1995. – № 87. – P. 121–132.
24. *Monin A.S., Plakhin E.A., Sagalevich A.M.* Visual observations of the Red Sea hot brines // *Nature.* – 1981. – Vol. 291. – № 5. – P. 222–225.
25. *Murray J., Renard A.F.* Deep-sea deposits. Report «Challenger» Expedition (1873–1876). – London: Eyre&Spottiswood, 1891. – 525 p.
26. *Piccard J., Dietz R.S.* Seven miles down. The story of the bathyscaph «Trieste». Jacques Piccard and Robert S. Dietz. – New York, Putnam, 1961. – 178 p.
27. *Rea D. K., Blakely R.J.* Short-wavelength magnetic anomalies in a rapid seafloor spreading // *Nature.* – 1975. – Vol. 255. – P. 126–128.
28. *Rona P.A. Klinkhammer G., Nelsen T.A.* et al. Black smokers, massive sulphides and vent biota at the Mid-Atlantic ridge // *Nature.* – 1986. – Vol. 321. – P. 33–37.
29. *Sagalevich Anatoly M., Isley III, Paul T.* The Deep. Voyages to Titanic and Beyond // *Botanical Press.* – 2009. – 299 p.

REFERENCES

1. *Bogdanov Yu.A., Lisitsyn A.P., Murav'yev K.G., Sagalevich A.M.* Vysokotemperaturnyye gidrotermal'nyye postroyki riftovoy doliny [High-temperature hydrothermal structures of the rift valley]. *Gidrotermal'nyye obrazovaniya sredinnogo khrebtta Atlanticheskogo okeana.* Moscow, Nauka publ. 1992. P. 125–154.
2. *Bogdanov Yu.A., A.P. Lisitsyn, Sagalevich A.M., Gurvich Ye.G.* Gidrotermal'nyy rudogenez okeanskogo dna [Hydrothermal ore genesis of the ocean floor]. Moscow, Nauka publ. 2006. 527 p.
3. *Bogdanov Yu.A., Rona P.A., Gurvich Ye.G.* et al. Reliktovyye sul'fidnyye otlozheniya gidrotermal'nogo polya TAG, Sredinno-Atlanticheskij khrebet (26°s.sh., 45°z.d.) [Relict sulfide deposits of the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge (26°N, 45°W)]. *Okeanologiya.* 1994. No. 34(4). P. 590–599.
4. *Bogdanov Yu.A., Sagalevich A.M.* Geologicheskiye issledovaniya s glubokovodnykh obitayemykh apparatov «Mir» [Geological research from deep-sea manned vehicles «Mir»]. Moscow, Nauchnyy mir publ. 2002. 304 p.
5. *Galkin S.V., Sagalevich A.M.* Gidrotermal'nyye ekosistemy Mirovogo okeana: issledovaniya s glubokovodnykh obitayemykh apparatov «Mir» [Hydrothermal Ecosystems of the World Ocean: Research from the Mir deep-sea manned vehicles]. Moscow, GEOS publ. 2012. 144 p.
6. *Gurvich Ye.G.* Metallonosnyye osadki Mirovogo okeana. [Metalliferous sediments of the World Ocean]. Moscow, Nauchnyy mir publ. 1998. 340 p.
7. *Monin A.S., Bogdanov Yu.A., Zonenshayn L.P.* et al. Podvodnyye geologicheskiye issledovaniya s obitayemykh apparatov [Underwater geological research from manned vehicles]. Moscow, Nauka publ. 1985. 232 p.
8. *Riffo K., Le Pishon K.* Ekspeditsiya «Famous» [Expedition «Famous»]. Leningrad, Gidrometizdat publ. 1979. 222 p.
9. *Sorokhtin O.G.* Teplovyye potoki cherez sredinno-okeanskiye khrebtty [Heat flows through mid-ocean ridges]. *Okeanologiya; geodinamika.* Pod red. O.G.Sorokhtina. Moscow, Nauka publ. 1979. P. 178–181.
10. *Ballard R.D., Francheteau J., Juteau T.* et al. East Pacific Rise at 21°N: the volcanic, tectonic and hydrothermal processes of the central axis. *Earth and Planetary Sciences Letters.* 1981. Vol. 55. No. 1. P. 1–10.
11. *Busby R.F.* Manned submersibles. Office of NAVY. 1976. 764 p.
12. *Charlon J.L. Donval J.-P., Donville E.* et al. High methane flux between 15°N and Azores Triple Junction Mid-Atlantic Ridge, hydrothermal and serpentinization processes. *Eos Transactions American Geophysical Union.* 1977. Vol. 78. No. 46. 831 p.
13. *Converse D.R., Holland H.D., Edmond J.M.* Flow rates in the axial hot springs of the East Pacific Rise (21°N): Implications for the heat budget and formation of massive sulfide deposits. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1984. Vol. 69. P. 158–175.

14. CYAMEX scientific team: First manned submersible dives on the East Pacific Rise 21°N (Project Rita): General results. *Marine Geophysical Research*. 1980. 189 p.
15. *Edmond J.M., Campbell A.C., Palmer M.R. and German C.R.* Geochemistry of hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: TAG and MARK. *Eos. Trans. American Geophysical Union*. 1990. Vol. 71. P. 1650–1651.
16. *Feely R.A., Lewison M.A., Massoth G.J.* et al. Composition and sedimentation of hydrothermal plume particles from North Cleft segment, Juan de Fuca Ridge. *Journal of Geophysical Research*. 1994. Vol. 99. No. B3. P. 4985–5006.
17. *B. Heezen & C. Hollister* The face of the Deep. N.Y. Oxford Univ. 1971. 641 p.
18. *Hot brines* and recent heavy metal deposits in the Red sea. N.Y. Springer Verlag. 1969. 600 p.
19. *Krasnov S.G., Cherkashev G.A., Stepanova T.V.* et al. Detailed geological studies of hydrothermal vents and processes. London, 1995. No. 87. P. 46–64.
20. *Lalou C., Brichet E.* et al. Age and implications on East Pacific Rise sulfide deposits at 21°N. *Nature*. 1982. Vol. 300. No. 5888. P. 169–171.
21. *Lalou C., Reyss J.-L., Brichet E.* et al. Hydrothermal activity on a 105-year scale at a slow-spreading ridge, TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge 26 N. *Journal of Geophysical Research*. 1995. No. 100. P. 17855–17862.
22. *Larson R.L.* Near bottom geologic studies of the East Pacific Rise crest. *The Bulletin of the Geological Society of America*. 1971. Vol. 82. P. 823–841.
23. *Mills R.A.* Hydrothermal deposits and metalliferous sediments from TAG, 26° N Mid-Atlantic Ridge. *Geological Society London Special Publications*. 1995. No. 87. P. 121–132.
24. *Monin A.S., Plakhin E.A., Sagalevich A.M.* Visual observations of the Red Sea hot brines. *Nature*. 1981. Vol. 291. No. 5. P. 222–225.
25. *Murray J., Renard A.F.* Deep-sea deposits. Report “Challenger” Expedition (1873–1876). London: Eyre & Spottiswood, 1891. 525 p.
26. *Piccard J., Dietz R.S.* Seven miles down. The story of the bathyscaph “Trieste”. Jacques Piccard and Robert S. Dietz. New York, Putnam, 1961. 178 p.
27. *Rea D. K., Blakely R.J.* Short-wavelength magnetic anomalies in a rapid seafloor spreading. *Nature*. 1975. Vol. 255. P. 126–128.
28. *Rona P.A., Klinkhammer G., Nelsen T.A.* et al. Black smokers, massive sulphides and vent biota at the Mid-Atlantic ridge. *Nature*. 1986. Vol. 321. P. 33–37.
29. *Sagalevich Anatoly M., Isley III, Paul T.* The Deep. Voyages to Titanic and Beyond. Botanical Press. 2009. 299 p.

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

В памяти вечно живые

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны

*Мы преклоняемся «...перед теми, кто в самый трудный час, не колеблясь, встал на защиту Отечества, в ком чувство долга оказалось сильнее страха, инстинкта самосохранения и любых личных устремлений, кто пожертвовал всем, чтобы защитить от унижительного рабства своих сограждан...»**



Ижорский Александр Васильевич родился в 1925 г. Работал слесарем по КИП и автоматике института. В 1942 г. добровольно пошёл на фронт, воевал в составе 1-го Украинского фронта, оккупационной армии в Германии. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны II степени», медалями «За боевые заслуги» и др.



Манилов Сергей Александрович родился в 1925 г. Директор базы отдыха института. Служил в Советской Армии с 1943 по 1946 гг. Окончил военно-инженерное училище, участвовал в освобождении Польши. Награждён орденами «Золотой крест за заслуги ПНР», «Отечественной войны II степени» и медалями.



Мартынов Владимир Тимофеевич родился в 1925 г. Старший научный сотрудник института, кандидат технических наук. В Советской армии служил с 1943 по 1947 гг. Старший сержант, механик-водитель танка Т-34 и установки СУ-76. Воевал в составе войск Западного и 2-го Белорусского фронтов. Ранен на Курской дуге и под Ковелем. Инвалид Великой Отечественной войны. Награждён орденом «Отечественной войны I степени» и медалями.

*Предисловие к книге «Геологи на войне». – М., 1995.



Болотов Леонид Александрович родился в 1918 г. Старший научный сотрудник отдела морской геологии. Участвовал в Великой Отечественной войне с 1941 по 1945 гг. в качестве капитана-инженера по взрывным работам. Оборонял Москву, принимал участие в Сталинградской битве, в боях на Курской дуге, освобождал Киев, готовил парад Победы в Москве. Награждён орденами «Красного Знамени», «Отечественной войны II степени», медалями «За оборону Москвы», «За оборону Сталинграда» и др.

Мой боевой путь...

26 июня 1941 г. я окончил Ленинградский горный институт и в тот же день вступил в народное ополчение г. Ленинград. Затем учёба на курсах лейтенантов при Военно-инженерной Академии им. В.В.Куйбышева. После присвоения воинского звания лейтенант 11 октября 1941 г. меня направили для прохождения дальнейшей службы в Специальную группу Главного военно-инженерного управления Красной Армии. В тот же день на совещании в Моссовете было принято решение о подготовке важнейших промышленных объектов Москвы к уничтожению.

Утром 12 октября я прибыл на электrozавод и приступил к формированию подрывного отряда. В течение 12–20 октября завод был полностью заминирован и в таком состоянии находился до 10 декабря. В середине декабря завод разминировали, и я участвовал в разминировании других объектов г. Москвы. В частности, на опорах Бородинского и метромоста через Москву-реку было обнаружено такое количество взрывчатки, которого хватило бы на разрушение обоих мостов.

В апреле–июне 1942 г. я участвовал в обучении партизанских отрядов в районе г. Тула. Ночные учения проводились в районе Косогорского металлургического комбината и Ясной поляны.

С 31 июля 1942 г. по 3 февраля 1943 г. находился на Сталинградском фронте. В начале августа был минирован первенец первой пятилетки – Сталинградский тракторный завод. В конце августа в результате бомбёжек и артобстрела завод был полностью разрушен, и меня направили на Сталинградскую ГРЭС. В зависимости от обстановки на фронте 8 раз минировали и разминировали станцию. Станция всё время работала. За выполнение Сталинградской операции я был награждён орденом Красной Звезды, который мне вручили в Кремле в ноябре 1944 г.

В июле–августе 1943 г. принимал участие в разминировании объектов на Курской дуге, в частности, в г. Орёл разминировались здания для государственных и партийных организаций.

В октябре–ноябре 1943 г. я принимал участие во взятии г. Киев. После освобождения города разминировал театр оперы и балета им. Т.Г.Шевченко.

В апреле–мае 1944 г. принимал участие в разминировании объектов Крыма, и в частности, городов Симферополь и Старый Крым.

Последнее «боевое» задание – инженерное обеспечение Парада Победы на Красной площади 24 июня 1945 г.

Из книги «Геологи на войне», 1995 г.

Лебедев Виктор Викторович родится в 1926 г. Старший научный сотрудник, высококвалифицированный специалист в области технологии горных работ при разработке и разведке месторождений, кандидат технических наук, автор более 70 опубликованных научных трудов. В августе 1943 г. добровольно вступил в ряды Красной Армии и сразу же попал на передовую. Участвовал в боях в составе стрелковой дивизии 3-ей Армии, в частях III Берлинского фронта прошёл до Берлина. 7 декабря 1943 г. семнадцатилетний командир отделения сержант Виктор Лебедев был тяжело ранен и после излечения ещё в течение 5 лет находился в действующей армии. Демобилизовался только в 1949 г. Награждён орденом «Отечественной войны II ст.», медалями «За боевые заслуги» и др.



Как это было

Сам я из Орла. При взятии немцами города мы всей семьёй (отец, мать и я с 4-летней сестрой) двинулись к Туле. В 50 километрах к северу от Орла нас обошли немецкие войска, которые быстро продвинулись по шоссе далеко вперёд. На семейном совете решено было оставить мать с детьми в глухой деревне у дальней родственницы на границе Орловской и Калужской областей, а отец с группой железнодорожников просёлками пошёл к Туле. В деревне мы провели всё время фашистской оккупации.

С приходом Красной Армии в августе 1943 г. вернулись в Орел. По совету «мудрых» людей я сразу же пошёл в военкомат, что могло обеспечить мне некоторые «преимущества»: во-первых, ко мне будет благосклонное отношение, так как я ещё не достиг призывного возраста, во-вторых, предполагалось, что меня направят в военное училище. Но всё произошло иначе. Военкомат направил меня на сборный пункт, где через несколько дней была сформирована маршевая рота. С этой ротой меня направили на пополнение 269-й стрелковой дивизии 3-й армии, которая с боями продвигалась к Белоруссии. Прибыв в 1020-й полк, мы в спешном порядке были обмундированы, вооружены учебными винтовками, приведены к присяге и брошены в бой. Так я получил первое боевое крещение.

Как потом выяснилось, самое главное во фронтовой жизни – уцелеть в первом бою! После этого начинают вручать солдатские заповеди: не лезь в кучу людей во время атаки, старайся выйти на открытое место; не бойся выскакать из окопа после сигнала ракеты; оставь на потом «наркомовские» 100 граммов – пригодятся; не залгай в испуге перед немецкими окопами, иначе – крышка; не жди помощи при ранении, торопись

убраться назад, на исходную позицию. Благодаря этим заповедям, а может быть чему-то другому мне удалось уцелеть в четырёх наступлениях.

Распорядок фронтовой жизни был таким. Солдат выполняет две основные функции: совершает ночной марш-бросок и, прибыв в назначенное место, начинает окапываться. Закончив работу, слышишь команду: «Приготовиться к построению!». И всё повторяется сначала. Спать приходится на ходу: ноги идут, голова спит.

Что самое страшное на фронте? Это когда на тебя ползёт «Фердинанд», и когда ожидаешь в окопе сигнала к атаке. А ещё лично мне было очень страшно, когда мы всё же залегли перед немецкими траншеями, и я лежал, притворившись мёртвым, в картофельной борозде до темноты. Потом принял такое решение: неожиданно вскочить и бежать к своим. Спасло меня от смерти то, что провалился в картофельную яму, выбраться из которой удалось только глубокой ночью. Явился к своим, как с того света – меня уже никто не ждал. После этого боя от роты в живых осталось трое.

Вскоре нас отвели с передовой на кратковременный отдых. Здесь меня как одного из образованных (всё-таки окончил 8 классов) откомандировали в полковую школу младших командиров. Обучение продолжалось три недели, после чего в канун 26-й годовщины Октябрьской революции нас выпустили сержантами и направили обратно в свою часть.

День 7 декабря 1943 г. запомнился на всю жизнь, хотя вначале всё было как обычно: на рассвете – очередная подмена смертников в траншеях с традиционным приветствием «Здорово, славяне!», 40-минутная артподготовка, принятие «жидкости» из фляги и атака.

Чувствовал, что со мной должно что-то произойти, но сам себя успокаивал, что ничего плохого не случится.

Пробежав вперёд 100–150 метров, получил сильный удар и очутился на земле. Согласно заповеди, сгоряча вскочил и побежал в обратную сторону. Тут я попался на глаза замкомбата по политчасти, который оттащил меня дальше в тыл и загрузил на санитарную повозку соседнего полка. Предварительно я был перевязан девушкой-санинструктором. Моё счастье, что ранили в числе первых, когда ещё оставалась возможность быть подобранным с поля боя.

Дальше начались мои странствия как «ран-больного»: медсанбат, полевой госпиталь, эвакогоспиталь, санитарный поезд, госпиталь в г. Саранск. Ранение оказалось тяжёлым: разрывная пуля пробила правое плечо и на выходе разворотила лопатку.

В марте 44-го ко мне приехал отец с ценной бумагой: орловский гарнизон брал раненого земляка на дальнейшее излечение и содержание. Как выяснилось, родные стены помогают не только в спорте, поскольку ещё излечивают и душу. Мне разрешили находиться дома при условии регулярного посещения находящегося рядом привокзального госпитального пункта. Там мне делали перевязки и разрабатывали плечевой сустав. Улыбчивые лица, ласковые сердца и заботливые руки женского медперсонала сделали своё благородное дело: после четвёртого ежемесячного обследования гарни-

зонной комиссии при областном госпитале в августе 1944 г. последовал вердикт: «Годен к нестроевой!»

Опять военкомат и приписка к 5-й фронтовой трофейной бригаде, которая в сентябре начала продвижение от Орла к линии фронта, проходившей в Польше. Мне исполнилось 18 лет, и в атаку я больше не ходил.

Главной задачей бригады в Польше была эвакуация наших подбитых танков и автомашин после сражений (у городов Люблин, Радом, Варшава, Познань). С вступлением на территорию Германии наша часть занималась в основном демонтажом и вывозом оборудования (в городах Рансдорф, Потсдам, Магделург, Ваймар, Лейпциг, Хемниц, Ауэ).

Конец войны застал меня в одном из городков в 40 км от Берлина. 2 мая на грузовике бросились в столицу Рейха. Расписались на одной из стен Рейхстага, поскольку все колонны уже были заполнены автографами победителей.

После демобилизации и возвращения в Орёл поступил в ноябре 1949 г. в вечернюю школу рабочей молодёжи и летом следующего года сдал экзамены за 9 и 10 классы...

В послевоенные годы в День Победы я часто ходил в Парк им. Горького на встречи фронтовиков. Ветеранов 269-й дивизии видел, но знакомых не встречал: полегли, видимо, все. Вечная им слава и память!

(Со слов В.В.Лебедева, записал Ю.Т.Смирнов)

Иллюстрации А.Д.Юргиной





Шебеко Михаил Болеславович родился в 1918 г. Начальник штаба ГО института. В июне–августе 1941 г. служил на подводной лодке Щ-405, базировавшейся в Кронштадте, в бою был тяжело ранен. После госпиталя служил в Военмориздате и в разведотделе Краснознаменного Балтийского флота. Уволен по болезни в марте 1945 г. Инвалид Великой Отечественной войны. Награждён орденами «Красной Звезды», «Отечественной войны I степени», медалями «За оборону Ленинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и др.

На Балтике

В боевых действиях мне пришлось принять участие с первых дней войны. В июне 1941 г. наша подводная лодка «Щ-405» в составе небольшого отряда вышла из Кронштадта. В пути транспорт, который мы эскортировали, подорвался на одной из неконтактных мин, расставленных немцами на фарватере, лодка подвергалась налётам вражеской авиации.

В течение месяца мы блокировали немецкие суда в порту Свинемюнде, затем лодка была атакована сторожевыми кораблями неприятеля. Нам удалось уйти от преследования, но в этом бою погибли командир лодки, его заместитель и два связных, после чего я принял командование на себя.

11 августа 1941 г. после ночной штормовой вахты на командирском мостике я отдыхал в каюте, когда подлодка внезапно приняла вертикальное положение, колом пошла ко дну и на запредельной глубине носом зарылась в илистый грунт. При этом оказались повреждёнными цистерны, заклинило кингстоны и торпеды в торпедных аппаратах, аккумуляторы залило морской водой, и из них стал выделяться хлор.

Всё-таки нам удалось всплыть.

Когда лодка находилась в надводном положении и личный состав занимался устранением повреждений, два самолёта противника «Фокке-Вульф» стали поочередно заходить с кормы, бомбить и расстреливать лодку. Управляя зенитной артиллерией и манёвром, мне удалось обеспечить сохранность под-

лодки, но перед погружением я был ранен в левую руку и в грудь. До сих пор живу с пулей в сердце.

Через трое суток меня в бессознательном состоянии доставили в госпиталь на острове Даго. При бомбёжке госпиталя я получил контузию.

Остров находился в окружении противника, поэтому в госпитале никто не задерживался. С повязками на груди и руке мне разрешили выполнять обязанности консультанта по военно-морским делам при штабе обороны острова. С моим участием был высажен десант на материк для отвлечения удара гитлеровцев от Таллина. Однако из-за ухудшения моего здоровья командующий обороной острова генерал-майор Елисеев распорядился отправить меня на «Большую землю». В ночь на самолёте «Дуглас» вместе с другими ранеными и жёнами командиров, под обстрелом зенитных орудий мы над территорией Финляндии перелетели в г. Тихвин.

Более полугода я находился на излечении. В дальнейшем служил в Военмориздате в блокадном Ленинграде, а с июля 1944 по февраль 1945 гг. – в действующем подразделении разведотдела Краснознаменного Балтийского флота.

В связи с ухудшением состояния здоровья 3 марта 1945 г. мне пришлось распрощаться с воинской службой. Я был демобилизован и признан инвалидом ВОВ 2-й группы.

Из книги «Геологи на войне», 1995 г.

Яковлев Лев Ильич (1924–1998) – ведущий научный сотрудник отдела геологии золота, кандидат геолого-минералогических наук. Первооткрыватель месторождения (1965), кавалер ордена Дружбы народов (1995). Служил в Советской Армии с сентября 1942 г., а с февраля 1943 г. воевал на юго-западном направлении. Участвовал в боях на Курской дуге, был тяжело ранен. Инвалид Великой Отечественной войны. Награждён орденом «Отечественной войны I степени» и медалями.



Курская битва

Для меня война – это Курская битва с 5 по 14 июля 1943 г., когда люди почти голыми руками перемалывали танки. Но сначала я со школой работал на строительстве оборонительных сооружений, пока немцы не прорвались 16 ноября под Наро-Фоминском, потом была школа военных моряков за Жуковским мостом, особый батальон на Дубининской. В августе 1942-го меня мобилизовали и отправили в Ярославское миномётно-пулемётное училище. Помню, что преподаватели училища сами рвались на фронт и время от времени менялись. Занятия начались в октябре, а незадолго до выпуска нас подняли по тревоге и погрузили в эшелон. Так я и остался рядовым. Это было в конце Сталинградской битвы, и везли нас против Манштейна, но пока везли, всё закончилось.

Попали мы на Воронежский фронт, во 2-й батальон 280-го полка 92-й гвардейской дивизии. Весну и начало лета простояли в обороне, а за 10 дней до начала Курской битвы переместились во 2-й эшелон в Корочу. 5 июля с утра была слышна страшная канонада, в 4 часа дня марш-бросок к передовой. К утру мы прошли около 80 километров с полной боевой выкладкой и заняли позиции.

Немцы двигались на танках. Перед нами был противотанковый ров. Немцы подвезли на автомашинах наших пленных, те стали закапывать ров. По своим стрелять не будешь. Засыпали, танки двинулись дальше. Против нашей роты было до сорока танков. Кто не выдержал, побежал – сразу конец: задавят или расстреляют. Кто выдержал, усидел в окопе, пока они через нас пёрли, тот может дальше воевать – сзади гранатой его противотанковой или бутылкой...

В первом бою я прочувствовал уже до нюансов, когда снаряд летит, и где он будет рваться, когда мина, а сначала ничего не мог поделывать, потому что слишком много шума вокруг: и снаряды, и мины, и пулемёты, и автоматы, и пули свистят кругом. С этим надо разобраться, потому что потом некогда смотреть. Тут работает чисто звериный инстинкт

...К вечеру, когда немцы рассеялись, остатки нашего батальона оказались в пустоте – ни немцев, ни наших. И связи никакой ни со штабом, ни с кем. Дождались темноты, комбат повёл к своим. Уже нас 317 оставалось всего. Ну это мы потом сосчитали, когда добрались. К рассвету всё-таки вышли – комбат нашёл лазейку! А дальше все дни по одному сценарию: утром бой, ночью выходим из окружения, немного спим, иногда получаем пополнение, утром занимаем новые позиции. Отличались дни только по количеству атак и когда сколько выбьют. Ну восьмого бой тяжелее был. Во-первых, батарею нашу уничтожили ещё накануне, от пулемётной роты осталось только три человека, считая командира. Было одиннадцать атак. Немцы как-то всё больше нажимали на фланги. Траншеи были не сплошные, а прерывистые, метров через 200–250, до 400. Между ними всё простреливалось. На соседей здорово наседали, у них патроны кончались. Командир говорит: «Надо патронов им подбросить. Кто доброволец?» Я пошел. 250 метров надо было проползти. Бежать бесполезно – огонь шквальный. Полз как змея. Со мной целый вещмешок с патронами, автомат. Их командир спрашивает: «Останешься атаку отбить?». Но для меня наш командир роты был бог. А если подумают, что отсиживаюсь? Пополз обратно.

В одну из ночей, когда вышли из окружения, пришло пополнение из Узбекистана. Они говорят, что ничего не видят. Комбат сначала думал, что симулируют, потом разобрались: куриная слепота. Когда двинулись на позицию, поставили впереди одного русского, ему в руку обмотку, а дальше они за обмотку и цепочкой. К вечеру никто из них не уцелел.

Волнение, между прочим, как перед какой-нибудь ответственной защитой: страха нет, но всё думаешь, когда будет и как будет, а когда ты уже увидел опасность, поднимается такая ледяная ярость, и действуюешь хладнокровно. Я никогда не думал, что можно так быстро реагировать. Потом только плохо, когда такие моменты начинаешь вспоминать.

До 14-го у меня была только одна контузия. После ждали, когда стемнеет, чтобы выходить из окружения. Спали в траншее. Укрылся плащ-палаткой, дремлю и слышу: летит самолет. По звуку вроде наш. А наш помкомвзвода Захаренко, сталинградец, воевал с первого дня, толкает меня. Я ничего сообразить не успел, а услышал: бомба летит. В три прыжка по ходу сообщения в соседний окоп. Я первый, друг мой Миша на меня, а Захаренко сверху. Было прямое попадание точно в траншею – наш «кукурузник» думал, что здесь уже немцы, сбросил 50-килограммовую бомбу. И ведь не в бруствер попал, а точно в окоп. Двое пэтэровцев там ещё спали – их наповал. Среди нас Захаренко больше всех пострадал, сверху был, а у меня контузия – выстрелы всё время мерещились.

9-го – единственный случай, когда я сразу видел столько танков. Мы занимали оборону. Впереди была балка и за ней пологий подъём до горизонта. Справа и слева небольшие дубовые рощицы. И вот вся видимая степь в шахматном порядке была заставлена движущимися танками. Артиллерии своей уже не было, и мы невольно задумались «что будет?». Но тут нас поддержали. Подъехали сзади три «катуши», развернулись прямо в степи и сыграли. Всё окуталось дымом и пылью. Когда пыль рассеялась, оказалось, что многие танки горят.

11-го вышли из окружения около Прохоровки и наблюдали знаменитое танковое сражение, правда, со стороны. Видели, как танки выходили из боя, и машины тут же подвозили им боекомплект. Танкисты

всё-таки за броней, а эти ребята на машинах молодцы! Смотреть-то особенно было некогда.

14-го перед боем построили остатки батальона, подъехал на машине командир дивизии и отдал приказ. Приказ был такой: Сынки, ни шагу назад! Ни в коем случае! И повели нас к траншеям. Немцы уже начали бить. И как назло на этот раз они решили не обходить нас, а тут пролезть. Траншеи были мелкие, но окапываться некогда, да у меня и лопатки к тому времени не было. Ну тут уж довольно рано всех перебили, батальон наш остался один, кругом никого не было. Целая гора ребят лежала. В этот день меня ранило. Сначала пулевое ранение под ключицу, правда на излёте. Потом из танка снарядом, почти в упор. Увидел только вспышку, и стало так легко и свободно, как будто во сне. Два осколка пробили каску, а правая рука была начинена осколками как Млечный Путь звёздами. В этот день из нашего батальона осталось в живых три человека. А на следующий день на этом участке фронта наши войска перешли в наступление. Всего мы за девять дней с 5 по 14 июля отошли на 35 километров.

Когда я в первый раз увидел себя в госпитале, испугался, не узнал себя. Это был чистый скелет! Потом меня откармливали в госпиталях: и вино давали, и шиповник... Сделали операцию. Дали отпуск в Москву, домой. 5 февраля 1944 г. меня выписали, и 8 февраля я вернулся домой. Нас Яковлевых семь человек воевало, и только я вернулся. Один дядя погиб под Москвой, другой около Можайска, тоже под Москвой, третий был в пехоте, как и я, четвёртый – танкист, горел много раз, пешком в Москву возвращался и опять на фронт уходил, погиб в Берлине. Ещё один родственник моего возраста, не помню, кем доводился, погиб на Северном флоте, один был лётчиком.

Я надеялся, что всё-таки вернусь в строевую. Но военкомат направил на комиссию – локтевой сустав раздроблен, работал только мизинец – ни в какую.

После войны я ходил в дни Победы в парк культуры, надеялся кого-нибудь встретить из своих, но никого не нашёл. Не могу равнодушно слушать, когда кто-нибудь начинает про войну рассказывать. Встают перед глазами эти картины. Не могу даже фильмы смотреть.

Из книги «Геологи на войне», 1995 г.

Мы помним

В.О.КОНЫШЕВ, А.В.АНТОНЕЦ, Е.В.СИДОРОВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

С каждым годом ряды ветеранов Великой Отечественной войны редеют, поколение победителей уходит навсегда. С того майского вечера, когда московское небо озарил грандиозный салют, ознаменовавший окончание войны 1941–1945 гг., в жизни нашей страны изменилось очень многое. Но неизменным остался день 9 мая, праздник со слезами на глазах, сохраняется его сущность – память о жертвах, принесённых соотечественниками на алтарь Победы. Великая Отечественная война оставила незаживающие раны в каждой семье. Спустя 75 лет молодые люди с горечью рассказывают о судьбе своих прадедов, ушедших на фронт: многие не вернулись, погибли в жестоких боях, порою неизвестно даже место их захоронения. Тяжёлое испытание для родных. Сегодня мы отчётливо осознаем масштабы общенациональной трагедии. *«Родителям не хватало их дедов, и через них их не хватает и мне»*, – так на вопрос о своём личном отношении к празднику День Победы ответил наш коллега Владимир Муравьев в интервью, которое записал Совет молодых учёных и специалистов ЦНИГРИ в рамках проекта «Голос молодёжи». Очень важно чтобы наша «генетическая память» о войне была созидательной.

Бессмертный полк. При активном участии Совета ветеранов ЦНИГРИ значительно расширилась работа с архивными документами, которые помогают восстановить полузабытые имена сотрудников военного поколения, узнать об их жизни и работе, о наградах, полученных ими за боевые и трудовые подвиги в 1940-е годы. В институте создан новый мемориал, увековечивший имена сотрудников-фронтовиков. Но не менее важен и другой итог работы с архивами: собранная информация о вкладе каждого из коллег в дело великой Победы постепенно публикуется на сайтах ЦНИГРИ, Федерального агентства «Роснедра», в печати – становится достоянием всех, кто интересуется историей отечественной геологической отрасли, страны. Выступления на митингах у памятника воинам-геологам, не вернувшимся с войны, очень важный акт. И все же



Генеральный директор ЦНИГРИ А.И.Черных открывает Мемориал «Они сражались за Родину». Сентябрь 2020 г.

настоящая память об этих людях может сохраняться только в том случае, если потомки видят в них живых людей, с индивидуальной судьбой, различают их лица, не ограничиваются торжественным возложением цветов к братским могилам раз в год.

В течение ряда лет в «Геологическом вестнике», журналах «Отечественная геология», «Руды и металлы» выходят статьи о выдающихся ученых ЦНИГРИ,



Фотография из книги С.Д.Шера «Моя геологическая жизнь»: геологи селемджинской партии НИГРИЗолото Лев Ильич Яковлев (слева), коллектор Галина Яковлева и Сергей Дмитриевич Шер. 1951 г.

ветеранах боевых действий и трудового фронта. В числе недавних публикаций – поздравление участнице трудового фронта Великой Отечественной Нине Алексеевне Розановой (1917–2019) к её 101 дню рождения, посвящение к столетию со дня рождения ветерана Великой Отечественной войны Сергея Владимировича Щукина, кавалера четырёх боевых орденов (Красной Звезды, Отечественной войны 1-й и 2-й степеней, Александра Невского), освобождавшего Украину, Польшу, участвовавшего в разгроме Германии и взятии Берлина в звании старшего лейтенанта и должности начальника разведки артиллерийского дивизиона.

В 2020 г. на сайте Роснедр и ЦНИГРИ создана страница «Бессмертный полк», на которой рассказано о сотрудниках нашего института, участвовавших в Великой Отечественной войне. Сделан фильм-презентация «Военные страницы ЦНИГРИ», задуманный в развитие совместного с Роснедрами проекта – фотовыставки, посвящённой геологам и геологическим организациям в годы войны. В книге «Время ЦНИГРИ», подготовленной силами сотрудников всех отделов института и выпущенной в честь его 85-летия, особое внимание уделено рассказу о военных буднях НИГРИЗолото (так до 1957 г. назвался институт); в том же издании опубликованы чудом найденные и предоставленные ветераном ЦНИГРИ Светланой Васильевной Яблоковой фотографии коллектива НИГРИЗолото, сделанные в честь пятиле-

тия института в 1941 г. Снимки принадлежали ветерану трудового фронта Галине Дмитриевне Карамышевой (1908–2008). Ещё более подробно данный период освещён в статьях, опубликованных в течение 2020 г. в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы». Эти материалы основаны на архивных документах и рассказывают о роли геологов в укреплении минерально-сырьевой базы СССР в условиях оккупации значительных территорий, о работе НИГРИЗолото, эвакуированного в пос. Макарак Кемеровской области, о значении созданных на Урале и Алтае научно-исследовательских опорных станций института, о достижениях геологоразведочного сектора НИГРИЗолото, о том, какими усилиями множества людей был создан послевоенный золотой запас страны.

В 2020 г. вышли из печати мемуары известного исследователя золоторудных месторождений, ветерана Великой Отечественной войны Сергея Дмитриевича Шера (1918–1990) «Моя геологическая жизнь», написанные в конце 1980-х годов. Это – первое издание воспоминаний и символично, что долгожданная книга увидела свет в год 75-летия Победы: на её страницах говорят и смеются люди военного поколения, которые вынесли тяготы войны, восстановили разрушенную страну, созидали золотой век советской геологии.

Конечно, самые ценные материалы, которыми мы располагаем сегодня, – это воспоминания фронто-



Ветераны ЦНИГРИ Антонина Ивановна Григорьева и Глеб Константинович Степанов. 2017 г.

виков, собранные сотрудниками ЦНИГРИ Романом Африкановичем Амосовым и Николаем Михайловичем Дияновым и опубликованные в 1995 г. в книге «Геологи на войне». Коллеги успели сделать исключительно важное дело – сохранили свидетельства участников событий, и теперь наша задача – открыть эти уникальные воспоминания для широкого круга читателей. Некоторые главы книги уже представлены на сайте ЦНИГРИ: воспоминания младшего лейтенанта 109 стрелковой дивизии 20-й ударной армии, кавалера ордена Красной Звезды, Ордена Отечественной войны I степени, старшего научного сотрудника отдела геологии россыпей, кандидата геолого-минералогических наук Бориса Васильевича Рыжова (1923–2004), кавалера ордена Красной Звезды, Ордена Отечественной войны I степени, в середине 1960-х заместителя директора ЦНИГРИ по общим вопросам Глеба Константиновича Степанова (1922–2018), кавалера Ордена Отечественной войны I степени, ведущего научного сотрудника отдела геологии золота ЦНИГРИ, первооткрывателя

месторождений, кандидата геолого-минералогических наук Льва Ильича Яковлева (1924–1998). *«После войны я ходил в дни Победы в Парк культуры, надеялся кого-нибудь встретить из своих, но никого не нашёл. Не могу равнодушно слушать, когда кто-нибудь начинает про войну рассказывать. Встают перед глазами эти картины... Не могу даже фильмы смотреть»*, – этими словами заканчиваются воспоминания Л.И.Яковлева. Наша память о войне связана с преклонением перед этими людьми, которые прошли все круги ада и сохранили человечность, желание жить и созидать.

Дети войны. В журнале «Отечественная геология» (№ 3, 2020) опубликованы стихи о блокаде Ленинграда, написанные ветераном института, доктором геолого-минералогических наук Лидией Александровной Николаевой (1926–2020). В 1941 г. ей было всего 15 лет. Немногим старше автор рисунков к этим стихотворениям, зримо воссоздающих образы, которые возникают при чтении трагических строк: юная сотрудница ЦНИГРИ Варвара

Козлова вложила в эту работу свое личное отношение к войне. Страшные события, происходившие в 1941 г. в другой осажденной столице, навсегда врезались в память одиннадцатилетнего москвича, ныне ветерана ЦНИГРИ Александра Александровича Константиновского (1930–2020). Отрывки из его повести «Грозное и прекрасное» печатались в нескольких номерах журнала «Руды и металлы». Это произведение Александр Александрович посвятил сверстникам – детям войны. Наша память о событиях 1941–1945 гг., стремление отдать долг старшим поколениям тесно связаны с заботой о пожилых людях, чье детство опалила война.

Ветераны старше 75 лет, ушедшие на пенсию из ФГБУ «ЦНИГРИ», – это, как правило, люди с небольшим материальным достатком, часто одинокие, страдающие разными заболеваниями. Они нуждаются в поддержке. Размер материальной помощи определен коллективным договором института. ФГБУ «ЦНИГРИ» оказывает такое содействие всем ветеранам-юбилярам старше 75 лет, сопровождая вознаграждение памятными благодарственными письмами от имени дирекции, профкома и Сове-

та ветеранов за прежние и текущие заслуги перед институтом. В 2020 г. мы отметили юбилей 14-ти бывших сотрудников ЦНИГРИ, ушедших на пенсию из института со стажем не менее 25 лет – почти все они относятся к группе «дети войны». В настоящий момент у нас есть только один ветеран Великой Отечественной войны – Антонина Ивановна Григорьева, выпускница географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, в 1944 г. начавшая работать в НИГРИЗолото. В год 75-летия Победы ей исполнилось 100 лет.

Почётные грамоты, дипломы, благодарственные письма, открытки к Дню геолога и другим праздникам, подготовленные членами Совета молодых учёных и специалистов и дизайнерами редакционно-оформительского отдела института радуют пожилых людей – они чувствуют, что связь с ЦНИГРИ не прерывается.

Совет ветеранов института работает в постоянном контакте с пенсионерами. Так в 2020 г. были уточнены сведения о трёх ветеранах ЦНИГРИ, относящихся к группе «дети войны» и имеющих большие заслуги перед отраслью: об Алексее Аркадьевиче



Совет ветеранов ЦНИГРИ. 2020 г.



Молодёжь ЦНИГРИ. 2020 г.

Черемисине (1939–2020), участнике переоценки месторождения Кочкарь (с приростом 40 т золота), Александре Ивановиче Никулине, осуществившем огромный объём технологических исследований руд, в том числе оценённого с его участием месторождения Кючус, Игоре Алексеевиче Карпенко, отмеченном наградами Правительства Республики Саха (Якутия). В вопросах, связанных с поощрением заслуженных сотрудников, Совет ветеранов чувствует постоянную поддержку дирекции ФГБУ «ЦНИГРИ» и Федерального агентства «Роснедра».

Многим коллегам запомнились видеобращения сотрудников ЦНИГРИ, размещённые на сайте института 9 мая 2020 года. Ветераны вспоминали людей военного поколения, прежде всего своих родителей, их отношение к Дню Победы – празднику со слезами на глазах. Свидетельством столь же бережного, особенного отношения к этой теме прозвучало слово молодых сотрудников: они прочли стихотворение Дмитрия Руматы «Не смею говорить я о войне».

*Не смею говорить я о войне,
Но я скажу – есть родственная память.
Не дай нам Бог увидеть и во сне
Того, что было пережито Вами!*

Преемственность традиций. Самая лучшая память о подвиге людей военного поколения – сохра-



Закладка Аллеи Памяти. Сентябрь 2020 г.



Сотрудники ЦНИГРИ на торжественной церемонии в честь открытия Аллеи памяти. Сентябрь 2020 г.

нение и украшение мира, который они отстаивали. 21 февраля 2019 г. по инициативе нового поколения сотрудников ЦНИГРИ в институте был создан Совет молодых учёных и специалистов (СМУиС). Миссия Совета – помочь развитию творческой атмосферы, среды взаимной помощи и поддержки, наладить взаимодействие между отделами. Молодёжь института ценит связь поколений, понимает важность преемственности и передачи опыта. В истории института не было точно такого же сообщества, но традиции совместного творчества, заложены практически с самого начала работы НИГРИЗолото–ЦНИГРИ. В течение первого года работы СМУиС организовывал и проводил корпоративные мероприятия, многие творческие конкурсы и соревнования. Самым крупным проектом стала I Молодёжная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». Она была задумана как площадка для обмена опытом между учёными и специалистами разных поколений, работающими в области геологии твёрдых полезных ископаемых. Форум, впервые организованный молодыми сотрудниками, прошёл успешно: заложен фун-

дамент будущих совместных научных работ и сотрудничества. Это начинание в год 75-летия Победы в Великой Отечественной войне свидетельствует о многом. Очень верно сказала ветеран трудового фронта Антонина Ивановна Григорьева в своем напутствии молодежи института: *«Для того, чтобы хорошо сделать работу, нужно верить, что ты её доведешь до конца. Главное – вера в себя, в тех, с кем работаешь, любовь к своей работе. Она не всегда простая, иногда очень сложная. И всё упирается в людей. Судьба института зависит от того, кто в нём будет работать: захотят люди продолжить память о своем институте, и он будет жить».*

Парк, раскинувшийся вокруг здания ЦНИГРИ, был разбит в год 40-летия Победы нашей Родины в Великой Отечественной войне. В сентябре 2020 г. в честь 75-летия окончания Великой Отечественной и Второй мировой войн сотрудники посадили ещё 15 молодых деревьев (по числу отделов института) – черёмуха, рябина, клён серебристый. На торжественном открытии Аллеи памяти генеральный директор ФГБУ «ЦНИГРИ» Александр Иванович Черных подчеркнул: День Победы, память о народном подвиге – святыня, которая объединяет нас всех.

К 115-летию со дня рождения Герасима Васильевича Богомолова



17.03.1905—8.04.1981

Богомолов Герасим Васильевич – один из основателей гидрогеологической и инженерно-геологической школы, академик, государственный деятель, лауреат Государственных премий СССР и БССР, заслуженный деятель науки и техники БССР.

Герасим Васильевич Богомолов родился 17 марта 1905 г. в деревне Слизнево Сычевского уезда Смоленской области в крестьянской семье и до 17 лет жил в родной деревне. После окончания сельскохозяйственного техникума в 1922 г. поступил в Межевой институт, а в 1923 г. по путёвке ЦК РКП(б)

для беднейшего крестьянства был направлен в Московскую горную академию, где продолжил обучение до 1929 г.

Планомерное изучение подземных вод Белоруссии началось в 1928 г., когда по поручению Геологического комитета СССР на территории республики проводилась мелкомасштабная геологическая съёмка [3]. В те времена столица республики была ещё глубоко провинциальным тихим городом с весьма неторопливым ритмом жизни, с деревянным водопроводом. Начались поиски новых источников водообеспечения Минска из девонских и ледниковых отложений. В 1928 г. в Минске недалеко от бульварной мостовой Захарьевской улицы и была пробурена первая скважина, давшая известную минеральную воду «Минская-4» [5].

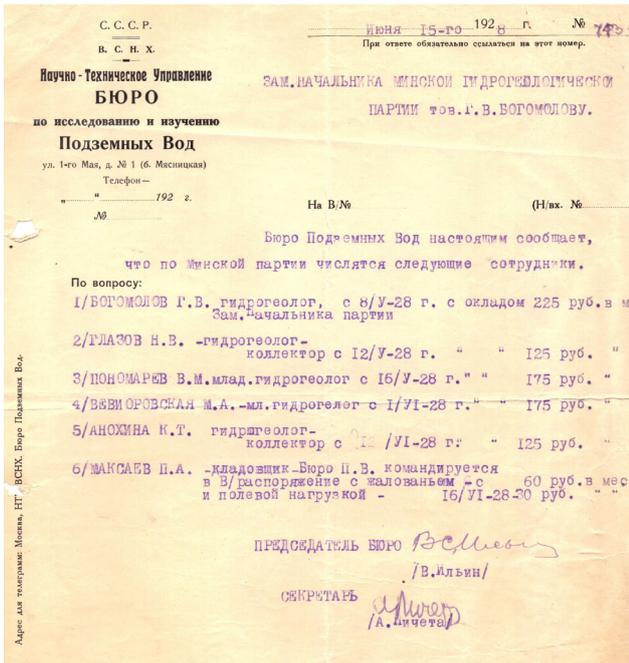
Научное руководство партии осуществлял профессор Г.Ф.Мирчинк, который совместно с молодым специалистом – гидрогеологом Г.В.Богомоловым разработал детальный план её научно-производственной деятельности. В программу партии входили



Студенческий билет Г.В.Богомолова



Г.В.Богомолов, студент МГА, 1927



Состав сотрудников по Минской партии

бурение гидрогеологических скважин глубиной 80–180 м в окрестностях Минска (деревни Новинки, Петровщина, Степанка, Дрожня), проведение геологических исследований четвертичных отложений, а также бурение скважины глубиной 400 м, расположенной в пойме р. Свислочь. Проходка этой скважины была завершена в 1929 г. на глубине 353,8 м (в то время это была самая глубокая скважина в западных районах СССР). Г.В. Богомолов организовал не только её тщательную проходку (ударно-вращательным способом, с полным отбором керна), но и всестороннюю научную обработку полученного кернового материала и привлёк для этой цели специалистов АН БССР и группу студентов IV курса Белгосуниверситета для круглосуточного дежурства на скважине. Отобранные образцы пород, пробы воды, данные замеров уровней воды в скважине исследовались в АН БССР и партии института сооружений ВСНХ СССР [1].

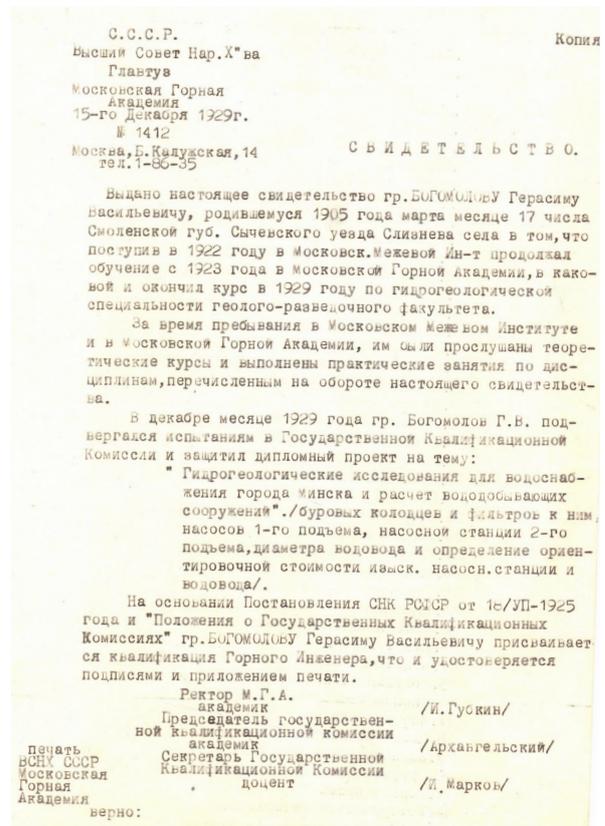
В декабре 1929 г. Г.В.Богомолов защитил дипломный проект на тему «Гидрогеологические исследования для водоснабжения Минска и расчёт вододобывающих сооружений». Среди экзаменаторов, высоко оценивших яркую работу, были крупные учёные академики А.Д.Архангельский, И.М.Губкин.

Несмотря на сложные геологические и гидрогеологические условия территории города, Герасиму Васильевичу удалось детально разработать стратиграфию ледниковых отложений и успешно решить

проблему водоснабжения Минска за счёт подземных вод. В области обоснования запасов подземных вод и производительности водозаборов данная работа стала пионерной. Г.В.Богомолов – первый в СССР гидрогеолог, проведший опытно-фильтрационные работы по определению производительности водоносного горизонта с помощью откачек.

Результаты проведённых исследований были обобщены Г.В.Богомоловым в работе «К методике определения производительности водоносных пластов откачкой», опубликованной в 1933 г. и представленной в качестве кандидатской диссертации в учёный совет Московского геологоразведочного института (научный руководитель проф. Г.Н.Каменский) [5].

Знакомство с работами Г.В.Богомолова (1920–1930-х гг.) свидетельствует о том, что он всерьёз хорошо знал и понимал стратиграфию, литологию, тектонику, палеогеографию, палеогеоморфологию, геологическую съёмку, составлял тектонические и геологические карты, прекрасно чувствовал и использовал данные региональной геологии для других разделов науки о Земле, занимался описанием



Свидетельство о защите дипломного проекта Г.В.Богомоловым

разрезов и составлением каталогов и кадастров скважин. В 1935 г. Г.В.Богомоллов составил первый в Белоруссии справочник-каталог буровых скважин по подземным водам и опубликовал его в 1938 г. В дальнейшем он неоднократно составлял такие же справочники-каталоги, которые прочно вошли в систему геологической службы БССР.

Авторитет Герасима Васильевича как специалиста и блестящего организатора рос год от года. Он занимал руководящие должности: был первым деканом гидрогеологического факультета Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе (1930–1932), заместителем директора по научной части институтов ГИДРОТЕХГЕО (Институт гидротехники и гидрогеологии) и ВОДГЕО, начальником экспедиции по водоснабжению г. Ялта (до марта 1935 г.), одним из основателей и первым директором ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) (1939, 1939–1951 и 1953–1954) и др. [1].

В 1931 г. на Первом Всесоюзном гидрогеологическом съезде Г.В.Богомоллов выступил с инициативой создания Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО). Опыт руководителя крупных коллективов гидрогеологов, а также умение объективно оценивать ситуацию и людей, ясно определять свою позицию, брать ответственность на себя – основные причины, по которым именно Г.В.Богомоллов стал первым директором ВСЕГИНГЕО [5].

Г.В.Богомоллов стоял у истоков официального признания гидрогеологии как одного из важнейших направлений геологической науки. Во многих работах Герасим Васильевич касался теоретических и прикладных проблем гидрогеологии и инженерной геологии. Г.В.Богомоллов считался крупнейшим специалистом в области изучения подземных вод Белоруссии. Широко известны труды Г.В.Богомоллова по гидрогеологии различных регионов Советского Союза и зарубежья [5].

В 1939 г. Герасим Васильевич завершил работу по стратификации коренных и ледниковых отложений, характеристике их водоносности, а также геологических структур, перспективных для поисков нефти, угля, соли, рассолов и получения подземных вод. Позже в Ленинградском горном институте защитил диссертацию на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

В 1940–1941 гг. Г.В.Богомоллов выполнял гидрологические исследования подземных вод на территории Белоруссии, результаты которых легли в основу реконструкции водоснабжения крупных городов республики. По заданию С.Орджоникидзе Г.В.Богомоллов многие годы оставался координато-

ром и руководителем этих работ. В 1940 г. Г.В.Богомоллов был избран членом-корреспондентом, а затем и действительным членом Академии наук БССР.

Диапазон научных интересов Г.В.Богомоллова был весьма обширным – от теоретических проблем геологии и региональных геолого-гидрогеологических обобщений до решения конкретных задач, связанных с освоением природных богатств, в том числе в Белоруссии. Глубокое знание геологических условий западных регионов СССР позволило Г.В.Богомоллову ещё в довоенные годы выработать представления о тектоническом строении территории Белоруссии и о возможности наличия здесь таких полезных ископаемых как соль, нефть, газ, железные руды, уголь. Эти прогнозы показаны на геологической карте коренных отложений БССР, составленной им в предвоенный период, и чётко изложены в его первых послевоенных работах [6].

В начале Великой Отечественной войны Г.В.Богомоллов занимался эвакуацией различных предприятий в Москве, организовывал и руководил работами, имевшими огромное оборонное значение (методы гидроизоляции грунтов при строительстве водоёмов для целей противовоздушной обороны, получение пищевой соли на базе Боенской скважины и др.). Закончил Великую Отечественную войну Герасим Васильевич в Берлине в звании полковника инженерных войск. Надо отметить, что Г.В.Богомоллов – первый и единственный в период



Командировочное удостоверение

Великой Отечественной войны полковник инженерных войск, профессор-гидрогеолог, заместитель начальника тыла Красной армии.

В послевоенное время Г.В.Богомоллов как крупный специалист-учёный принимал активное участие в правительственных экспертизах проектов крупнейших строек как в СССР, так и в других странах. В опубликованной в 1947 г. монографии «Подземные воды Белоруссии» с атласом геологических и гидрогеологических карт и разрезов к ним автор рассматривал условия залегания грунтовых и напорных вод, гидрогеологическое районирование, химический состав подземных вод, водообеспеченность территории. В связи с планами осушительной мелиорации в 1948 г. Герасим Васильевич анализировал гидрогеологические условия Полесья. В том же году он положительно оценил перспективы нефтегазоносности Припятского прогиба, что дало возможность расширить буровые работы на нефть [5]. Получение промышленных залежей нефти в южной части БССР, как и открытие залежей калийных солей – результат подтверждения прогнозов молодого Герасима Васильевича ещё в 1920–1930-х гг. Открытие (1949), дальнейшее утверждение запасов (1954) и разработка калийных солей в Белоруссии дали мощный импульс развитию промышленной базы на западе СССР, способствовали подъёму материального уровня населения.

В 1950 г. профессор Г.В.Богомоллов был назначен заместителем министра геологии СССР. По роду своей деятельности он курировал вопросы поисков и разведки подземных вод, освоения нефтегазовых месторождений от Молдавии до Камчатки. За это время были открыты Северо-Ставропольское газовое месторождение на Северном Кавказе; в Западной Сибири впервые был получен газовый фонтан в Березово; в Восточной Сибири появились первые нефтяные фонтаны на Марковской структуре, в Белоруссии – в Припятской впадине (Речицкое месторождение) и др. Анализ разработки и освоения нефтегазовых месторождений позволил Г.В.Богомоллову существенно расширить представления о структуре осадочного чехла в этих районах. По мнению Г.В.Богомоллова, неоднородности пластовой системы должны определять резкие изменения пластовых давлений и градиентов, направление и интенсивность движения подземных вод и, следовательно, процессы миграции углеводородов и формирования химического состава подземных вод [2].

Проблема аридности суши превратилась в 1950-х годах в важнейший проект ЮНЕСКО. Герасим Васильевич являлся в то время членом международного консультативного Совета ЮНЕСКО по аридным зонам земного шара. Именно Г.В.Богомолловым была

выдвинута идея о создании в странах Центральной Азии «артезианских городов», то есть крупных населённых пунктов, обеспечивающихся подземными артезианскими водами. С его именем связаны научные экспертизы важнейших гидротехнических проектов (типа проекта создания Каракумского канала) [5].

Научно-принципиальные качества будущего академика проявлялись в защите геолого-исторического метода при формировании современных основ инженерно-геологической науки и позже, в 1952 г., когда он был заместителем Министра геологии СССР, членом коллегии, заместителем главного редактора журнала «Советская геология», доктором геолого-минералогических наук, профессором. В то время в стране велась острая геолого-литологическая дискуссия о принципе актуализма («всегда как теперь»). Геологов этот устаревший принцип не устраивал, поскольку некоторые месторождения полезных ископаемых, образовавшиеся в древности, не имели аналогов в современный геологический период. Несмотря на то, что этот принцип актуализма поддерживали такие крупные геологи как академики Н.М.Страхов, Н.С.Шацкий, Л.С.Берг, В.П.Ренгартен, А.Н.Заварицкий, И.Ф.Григорьев и другие, Первый литологический съезд поддержал эволюционную («прерывистого равновесия») концепцию развития геологического процесса. Значительную роль в этой победе над старым «метафизическим» подходом в геологии сыграл Герасим Васильевич Богомоллов, скептически относившийся к тезису интеллектуалов «наука для науки». Свои представления на этот счёт он высказывал, не взирая на ранги, мало обращая внимание на последствия [6].

Г.В.Богомоллов обладал исключительной интуицией учёного, что позволяло ему создавать и развивать несколько научных направлений в геологической области знаний – «палеогидрогеология», «геотермия», «поровые растворы», «геоэкология» и др. Ещё в 1929 г. (опубликовано в 1932 и 1933 гг.) он писал: «Несмотря на наличие водоносных горизонтов в коренных и послечетвертичных отложениях, наиболее подходящим для водообеспечения г. Минска в настоящее время является межморенный водоносный горизонт, содержащий в себе воду прекрасного качества и в достаточном количестве. Если к этому ещё добавить экономические соображения, быстроту проходки и лёгкость замены одной скважины другой во время порчи, то станет совершенно ясным, что стоимость 1 куб. м воды из этого водоносного горизонта будет гораздо меньше, чем то же количество воды нижележащих водоносных горизонтов». Эти слова актуальны и сегодня [6].

В 1953–1960 гг. Г.В.Богомоллов занимался научно-исследовательской деятельностью в Лаборатории

гидрогеологических проблем им. Ф.П.Саваренского. В этот период им созданы фундаментальные научные работы «Подземные воды центральной и западной частей Русской платформы», «Кремнезём в термальных и холодных водах» и др.

В 1960 г. Г.В.Богомолов был избран академиком АН БССР и значительную часть своего времени отдавал становлению геологической службы (в частности, гидрогеологии) и науки в Белоруссии. Герасим Васильевич составил геологическую и тектоническую карты Белоруссии, дал прогноз водных ресурсов, участвовал в открытии месторождений калийных и каменных солей и нефти на её территории. Красавец город Солигорск – это часть жизни академика Богомолова. Он основал этот город, дал прогноз залежей калийных солей, который блестяще подтвердился [4].

Под руководством и редакцией Г.В.Богомолова группой специалистов Управления геологии и института геологических наук АН БССР в 1970 г. была издана монография «Гидрогеология СССР. Белорусская ССР», основанная на фактическом материале.

Г.В.Богомолов представлял отечественную науку не только в СССР, но и, за рубежом, занимая последовательно ряд ключевых постов в международных научных организациях водного и геологического профиля, получив в 1979 г. в Канберре (Австралия)



Г.В.Богомолов, 1967 г.

статус Почётного Президента международной ассоциации гидрологических наук (МАГН). Сильное влияние на Герасима Васильевича оказало знакомство с Президентом Индии Джавахарлалом Неру. Его идеи «о сотрудничестве видов» (о чём писал ещё



100-летие Геологической службы Индии, в центре глава советской правительственной делегации, заместитель Министра геологии СССР, профессор Г.В. Богомолов, Премьер-министр Индии Д. Неру. Дели, 1950

в XIX в. русский философ Н.Федоров) оказались весьма привлекательными для Г.В.Богомолова и неоднократно развивались им позже в лекциях и выступлениях. Во время празднования 100-летия Геологической службы Индии Герасим Васильевич неоднократно встречался с Д.Неру и его дочерью Индирой. На таких встречах Президент затрагивал различные вопросы, в том числе интересовался возможностью сотрудничества с Советским Союзом в поисках нефти в Индии. В международных научных организациях водного и геологического профиля он занимал ряд ключевых постов. Богомолов – первый и единственный гидрогеолог, глава советской правительственной делегации на 18-й сессии Международного геологического конгресса в Алжире (1952); один из первооткрывателей подземных вод в Северной Африке и нефти в Индии (1961); первый в СССР и единственный на постсоветском пространстве почётный президент международной ассоциации гидрологических наук (Канберре, Австралия, 1979). Учёный читал лекции по линии ЮНЕСКО в Алжире, Тунисе, Пакистане, Индии, Чили.

Профессор Герасим Васильевич Богомолов известен также как классический представитель «высшей школы» в мире. Много внимания и сил он уделял обучению и воспитанию студентов Московского геологоразведочного института, заведовал кафедрой гидрогеологии в Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова, выступал с лекциями и проводил семинары в Белорусском государственном университете. Г.В.Богомолов подготовил 13 докторов и 33 кандидата наук. Его учебник «Гидрогеология с основами инженерной геологии» выдержал несколько изданий в СССР, переведён на семь языков мира.



Доктор геолого-минералогических наук Н.Ф.Козлов, академик Г.В. Богомолов, Минск, 1975

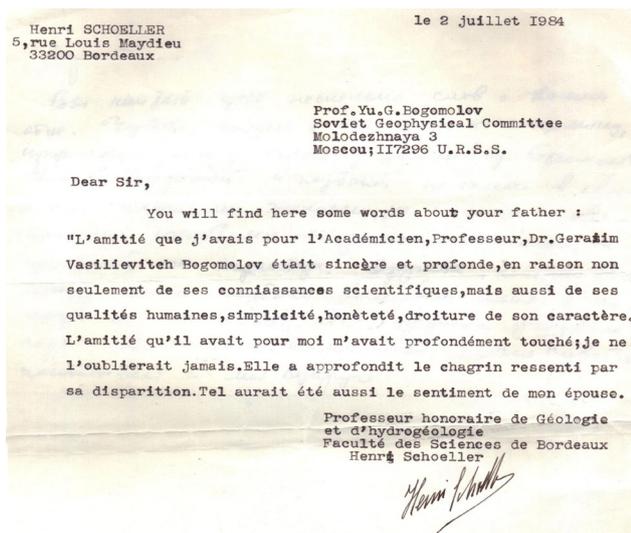


Академик Г.В.Богомолов, представитель Белорусской ССР на 24-й сессии Международного геологического конгресса в Канаде (Торонто), 1972

Г.В.Богомолов – автор более 350 научных работ, в том числе 12 монографий и 5 учебников.

Учёный удостоен Государственных премий СССР (1947, 1952) за разработку и внедрение химического метода закрепления плавучих и за открытие и разведку Старобинского месторождения калийных солей, Государственной премии БССР (1972) за открытие и разведку крупных нефтяных месторождений Припятской нефтегазоносной области на территории Белоруссии, за плодотворную научную и производственную деятельность, а также большой вклад в укрепление обороны страны Г.В.Богомолов награждён орденом Красной Звезды (1944) и медалями «За оборону Москвы» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне», орденом Трудового Красного Знамени (1947), Октябрьской Революции (1975).

Г.В.Богомолов обладал удивительными человеческими качествами, такими как доброжелательность и простота в общении, доступность и творческая нацеленность на государственное дело. Таким знали



Дорогой сэр,

Вы найдете здесь несколько слов о Вашем отце. Чувства, которые я испытывал к академику, профессору, доктору Герасиму Васильевичу Богомолу были искренними и глубокими не только в связи с его научными знаниями, но и с его человеческими качествами – простотой, честностью и прямой его характера. Дружба, которая была между нами, глубоко волновала меня, я никогда ее не забуду. Эта дружба углубила горе, связанное с его кончиной. Те же чувства испытывает и моя супруга.

(письмо сыну академика Г.В. Богомолу от почетного профессора геологии и гидрогеологии Факультета наук в г. Бордо Генри Шоллера)

Письмо от Г.Шоллера

полковника инженерных войск фронтовика и таким помнят Герасима Васильевича Богомолу коллеги и ученики.

А.П.Чехов писал о людях, подобных Г.В.Богомолу: «Подвижники нужны как солнце... Их личности – это живые документы, указывающие обществу, что ... есть ещё люди иного порядка, люди подвига, веры и ясно осознанной цели».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубцов В.К. Вклад академика Г.В.Богомолу в развитие региональной геологии и геологического картирования на территории Белоруссии // Материалы 1 научно-практической конференции «Проблемы охраны геологической среды», посвященной 90-летию со дня рождения акад. Г.В.Богомолу. – Минск, 1995.
2. Дитмар В.И. К 100-летию со дня рождения Герасима Васильевича Богомолу // Геология нефти и газа. – 2005. – № 6. – С. 58.
3. Кудельский А.В., Пашкевич В.И., Залыгина И.А. Новые перспективные типы минеральных подземных вод Беларуси. Первые сведения о лечебных свойствах

природных вод Беларуси. <https://www.sanlesnoe.by/upload/iblock/6d3/6d3291569c43932e503e5991329a505b.pdf>. Последнее обращение 12.10.2020.

4. Уроженец Смоленской области Герасим Богомолу – первооткрыватель недр // Смоленская газета 21 июля 2010. <https://smolgazeta.ru/history/4206-urozhenec-smolenskoj-oblasti-gerasim-bogomolov.html>. Последнее обращение 10.10.2020.
5. Устюгов Д.Л., Норова Л.П. Г.В.Богомолу и его роль в развитии отечественной гидрогеологии // Записки Горного института. – 2015. – Т. 215. – С. 16–24.
6. 100 лет со дня рождения академика Герасима Васильевича Богомолу : <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=14686c5c-9a06-4c4b-8a72-0650b87f083-e&print=1>. Последнее обращение 10.10.2020.

REFERENCES

1. Golubtsov V.K. Vklad akademika G.V.Bogomolova v razvitiy regional'noy geologii i geologicheskogo kartirovaniya na territorii Belorussii [The contribution of Academician GV Bogomolov to the development of regional geology and geological mapping on the territory of Belarus]. Materialy 1 nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy okhrany geologicheskoy sredy", posvyashchenoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya akad. G.V.Bogomolova. Minsk, 1995.
2. Ditar V.I. K 100-letiyu so dnya rozhdeniya Gerasima Vasil'yevicha Bogomolova [To the 100th anniversary of the birth of Gerasim Vasilyevich Bogomolov]. Geologiya nefi i gaza. 2005. No. 6. P. 58
3. Kudel'skiy A.V., Pashkevich V.I., Zalygina I.A. Novyye perspektivnyye tipy mineral'nykh podzemnykh vod Belarusi. Pervyye svedeniya o lechebnykh svoystvakh prirodnykh vod Belarusi [New promising types of mineral groundwater in Belarus. The first information about the medicinal properties of natural waters in Belarus]. <https://www.sanlesnoe.by/upload/iblock/6d3/6d3291569c43932e503e5991329a505b.pdf>. Posledneye obrashcheniye 12.10.2020.
4. Urozhnets Smolenskoy oblasti Gerasim Bogomolov – pervootkryvatel' neдр [A native of the Smolensk region, Gerasim Bogomolov, a discoverer of mineral resources]. Smolenskaya gazeta 21 iyulya 2010. <https://smolgazeta.ru/history/4206-urozhenec-smolenskoj-oblasti-gerasim-bogomolov.html>. Posledneye obrashcheniye 10.10.2020.
5. Ustyugov D.L., Norova L.P. G.V.Bogomolov i yego rol' v razvitiy otechestvennoy gidrogeologii [G.V. Bogomolov and his role in the development of domestic hydrogeology]. Zapiski Gornogo instituta. 2015 V. 215 P. 16–24.
6. 100 let so dnya rozhdeniya akademika Gerasima Vasil'yevicha Bogomolova [100th anniversary of the birth of Academician Gerasim Vasilyevich Bogomolov]. <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=14686c5c-9a06-4c4b-8a72-0650b87f083-e&print=1>. Posledneye obrashcheniye 10.10.2020.

Памяти Александра Александровича Константиновского



30.11.1930–09.10.2020

Александр Александрович Константиновский – ветеран ЦНИГРИ, ведущий научный сотрудник отдела металлогении, доктор геолого-минералогических наук, один из ведущих специалистов института в области металлогении, поисков и оценки месторождений золота и алмазов.

Тимане с девонскими конгломератами, содержащими высокосортные алмазы, золото и редкие металлы. По результатам многолетних исследований А.А.Константиновским были разработаны геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота и алмазов в древних конгломератах территории бывшего СССР и защищена докторская диссертация в 1991 г.

В постсоветское время А.А.Константиновский участвовал в выполнении ряда важнейших работ как по государственным контрактам, так и по договорам: по оценке перспектив золотоносности терригенных и черносланцевых комплексов востока России; выявлению новых и нетрадиционных типов месторождений цветных и благородных металлов на территории Верхоянской и Центрально-Колымской металлогенических провинций; локальному прогнозу палеороссыпей золота и алмазов в конгломератах перспективных районов Российской Федерации и других.

Александр Александрович Константиновский родился в 1930 г. в Воронеже. Закончил географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Свою трудовую деятельность Александр Александрович начал в 1956 г. в Средней Азии. С 1958 по 1972 гг. работал в Таджикистане, Приамурье, в Алданской и Колымской экспедициях Всероссийского аэрогеологического треста, участвовал в среднемасштабной геологической съёмке (Южное Верхоянье, хребет Джугджур, Приколмые, хребты Момский и Черского), внося существенный вклад в изучение стратиграфии и тектоники названных районов.

В 1969 г. А.А.Константиновский защитил кандидатскую диссертацию по тектонике Южного Верхоянья.

Работать в ЦНИГРИ Александр Александрович начал в 1972 г. Круг его научных интересов был разнообразен. Так, А.А.Константиновский впервые установил связь проявлений щелочно-ультраосновного магматизма на территории Беломорья с погрёбённым Онежско-Кандалакшским авлакогеном-палеорифтом и на этой основе положительно оценил перспективы обнаружения здесь алмазоносных кимберлитов. Вскоре это было подтверждено открытием трубок Зимнебережного района. Позже на основе изучения северо-западной части Русской плиты им были выделены локальные площади, перспективные на выявление кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста.

А.А.Константиновский оценил перспективы алмазоносности и золотоносности конгломератосодержащих формаций докембрия и фанерозоя территории России и выделил ряд перспективных районов Сибири, Урала и Тимана. В последующие годы прогноз подтвердился открытием месторождений алмазов в конгломератах верхнего палеозоя на фланге Мало-Ботубинского кимберлитового поля Якутии и палеороссыпного поля Ичет-Ю на Среднем

В 2000 г. была издана монография А.А.Константиновского «Палеороссыпи в эволюции осадочной оболочки континентов». В этой работе на широкой геологической основе установлена связь эволюции процессов и обстановок древнего россыпеобразования с общей эволюцией осадконакопления, тектонических режимов осадочных бассейнов и источников россыпных компонентов от раннего докембрия до фанерозоя. Выделены главные эпохи формирования палеороссыпей и латеральные ряды рудоносных формаций, а также выявлены глобальные уровни распространения терригенных формаций зрелого состава, благоприятных для образования палеороссыпей. Также впервые дан обзор месторождений и рудопроявлений золота и алмазов в конгломератах на территории России и выделены перспективные регионы. Лично и в соавторстве им опубликовано более 80 научных трудов, часть из которых перепечатана в зарубежных журналах.

А.А.Константиновский активно пропагандировал достижения отечественной геологии, романтику геологических поисков и съёмки в многочисленных научно-популярных изданиях, рассчитанных на самый широкий круг читателей. Он – автор книг прозы «Далёкие голоса», «Эти сверкающие снега».

Плодотворная работа А.А.Константиновского была высоко оценена и ему было присвоено звание «Отличник разведки недр».

Александр Александрович до последних лет сохранял жизненную активность, являлся инструктором по горным лыжам, занимаясь этой деятельностью в свободное время на Кавказе и в других регионах страны.

Александр Александрович – человек с прекрасными человеческими качествами, которые в сочетании с высоким профессионализмом снискали ему заслуженное уважение и любовь коллег по работе.

Память о нём всегда будет жить в наших сердцах.

*Дирекция
Учёный совет
Профком
Коллектив ФГБУ «ЦНИГРИ»*