УДК 553.078(571.54/55)
© Коллектив авторов, 2018

Металлогения Приаргунской структурно-формационной зоны

В.В.КУЗНЕЦОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1),
А.И.БРЕЛЬ (АО «Читагеологоразведка»; 672026, Забайкальский край, г. Чита, ул. Амурская, 91/15),
Н.Н.БОГОСЛАВЕЦ, С.Л.ЕЛШИНА, Т.П.КУЗНЕЦОВА, Т.В.СЕРАВИНА (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Установлено, что рудоносными (рудовмещающими) в пределах Приаргунской структурно-формационной зоны (СФЗ) являются венд-кембрийские карбонатно-терригенные и средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения, объединяющиеся соответственно в карбонатно-терригенную и вулканогенно-кремнисто-терригенную формации. Проведено металлогеническое районирование: рудные районы выделены по полям распространения названных формаций, которые могут быть объединены в формационный комплекс, а рудные узлы – по развитию одной из рудоносных формаций, локализованных в пределах палеопрогибов, или вулкано-тектонических депрессионных структур. В пределах Приаргунской СФЗ локализованы месторождения в вулканогенных ассоциациях (VHMS) – колчеданно-полиметаллический (Нойон-Тологойский) формационный тип и в осадочных толщах (SEDEX) – свинцово-цинково-колчеданный (Приаргунский) формационный тип. Рудные тела стратиформных свинцово-цинково-колчеданных месторождений Приаргунского типа сформированы в два этапа: гидротермально-осадочный и метаморфогенный. Формирование колчеданно-полиметаллических месторождений Нойон-Тологойского типа происходило преимущественно в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного отложения рудных залежей путем метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболитифицированных осадков.
Ключевые слова: Приаргунская структурно-формационная зона, рудный район, рудный узел, геологические формации, прогнозно-поисковые модели, колчеданно-полиметаллические месторождения.

Кузнецов Владимир Вениаминович okt@tsnigri.ru
Брель Андрей Иванович raf-chita@mail.ru
Богославец Николай Николаевич bogoslavets@tsnigri.ru
Елшина Светлана Львовна elshina@tsnigri.ru
Кузнецова Татьяна Петровна okt@tsnigri.ru
Серавина Татьяна Валерьевна tanyaseravina@gmail.com

Metallogeny of the Priargunsky structural-formational zone

V.V.KUZNETSOV (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI),
A.I.BREL (JSC «Chitageologorazvedka»),
N.N.BOGOSLAVETS, S.L.ELSHINA, T.P.KUZNETSOVA, T.V.SERAVINA (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

It is established that the Vendian-Cambrian carbonate-terrigenous and Middle-Upper Jurassic terrigenous-volcanogenic rocks, which combine into carbonate-terrigenous and volcanogenic-siliceous-terrigenous formations, are respectively ore-bearing (ore-bearing) within the Priargunsky SFZ. Metallogenic zoning is done: ore regions are identified by the distribution zones of the named formations, which can be combined into a formation complex, and ore clusters - by the development of one of the ore-bearing formations localized within the paleoflexures or volcanic-tectonic depressive structures. Within the Priargunsky SFZ, deposits in volcanic associations (VHMS) – pyrite-polymetallic (Noion-Tologoi) formational type are localized and in the sedimentary strata (SEDEX) – lead-zinc-pyrite (Priargunsky) formation type. Ore bodies of stratiform lead-zinc-pyrite deposits of the Priargunsky type are formed in two stages: hydrothermal-sedimentary and

metamorphogenic. The formation of pyrite-polymetallic deposits of the Noion-Tologoi type occurred mainly in submarine shallow conditions by the model of the subseafloor sedimentation of ore deposits by metasomatism and the execution of cavities of delamination of slightly lithified sediments.
Key words: Priargunsky structural-formational zone, ore region, ore cluster, geological formations, forecast-search models, pyrite-polymetallic deposits.

Особенности геологического строения Приаргунской структурно-формационной зоны обусловлены разноплановыми и разномасштабными процессами, протекавшими в архейскую, раннепротерозойскую, позднепротерозойскую, ранне-, средне- и позднепалеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую тектонические эпохи. Сохранность структурных этажей различна, и поэтому судить о характере, последовательности и масштабах геологических событий на ряде этапов или их стадий можно лишь предположительно. Наблюдаемая здесь мозаика разнородных и разноразмерных блоков (террейнов), представляющих собой перемещенные фрагменты макроструктур, хотя и позволяет оценить характер геологических процессов, происходящих на рассматриваемой части окраины Сибирского континента, но увязка этих различных геодинамических обстановок в целостную картину геологического развития региона во многом носит субъективный характер [2].

В позднерифейскую стадию сформировался комплекс основания, представленный **сланцево-карбонатной формацией**. Эти образования, развитые преимущественно в южной части зоны, были метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и амфиболитовой фаций регионального метаморфизма и превращены в слюдистые и кристаллические сланцы с кордиеритом и ставролитом, а также в гнейсы, амфиболиты, содержащие прослои мраморов и кварцитов. Мощность этих отложений составляет от 1000 до 2000 м. На рифейском фундаменте в венде образовался обширный морской бассейн, где вплоть до позднего кембрия накапливались терригенно-карбонатные и карбонатные формации с толщами пестроцветных пород в верхней части разреза. В конце раннего палеозоя произошли орогенез и гранитообразование [6]. Затем после длительного перерыва в юрском разрезе выделяются нижнеюрские континентальные озерно-болотные, среднеюрские континентальные и средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные островодужные отложения. Отложения мелового возраста представлены терригенными разрезами с прослоями бурых углей и относятся к нижне-, среднемеловой угленосной молассе.

Рудоносными (рудовмещающими) в пределах Приаргунской СФЗ являются венд-кембрийские карбонатно-терригенные и средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения (рис. 1).

Венд-кембрийская карбонатно-терригенная формация подразделяется на две субформации: нижнюю – углеродисто-карбонатно-терригенную и верхнюю – терригенно-карбонатную (рис. 2).

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация сложена углеродисто-глинистыми, кварцево-слюдистыми алевролитами, метаморфизованными песчаниками и алевролитами или ритмичной пачкой, состоящей из чередования терригенных и карбонатных отложений.

Раннекембрийская терригенно-карбонатная субформация сложена переслаивающимися пачками водорослевых кремнистых доломитов и хемогенных известняков с прослоями глинистых сланцев и алевролитов, линзами осадочных карбонатных брекчий, реже – конгломератов. В средней части разреза отмечается флишоидная толща, сложенная глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с прослоями известняков, доломитов кремнистых пород и туфопесчаников. В Нерчинско-Заводском рудном районе формация представлена доломитами, доломитовыми известняками и известняками с прослоями глинистых и мергелистых сланцев.

Завершилось накопление венд-кембрийской формации внедрением интрузий габбро-диорит-гранитовой формации, условно датируемой нижним палеозоем. Большая часть гранитоидных массивов сложена гнейсо-гранитами, гранитами и гнейсо-диоритами.

Средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения объединяются в вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию. На основе сопоставления обобщенных колонок рудных районов рассматриваемая формация подразделяется на три субформации (снизу-вверх): базальт-(андезит)-дацитовую углерод-кремнисто-терригенную, базальт-андезит-дацитовую и вулканогенно-терригенную (рис. 3). Для всех субформаций характерна фациальная изменчивость, заключающаяся в смене вулканогенных отложений терригенными, часто на коротких расстояниях. Соотношение вулканогенной и терригенной составляющей в их пределах колеблется, от преобладания вулканитов до подчиненного их количества. Что касается самих вулканогенных пород, то также наблюдается резкая изменчивость в соотношении кислых, средних и основных пород.

Вулканизм в регионе носил цикличный характер. В настоящее время можно выделить до трех циклов: основные–средние–кислые вулканогенные отложения с постепенными переходами друг в друга.

Вулканогенные отложения тургинской свиты мелового (?) возраста, отнесены к вулканогенно-кремнисто-терригенной формации верхней юры завершающего цикла вулканической активности в регионе, что

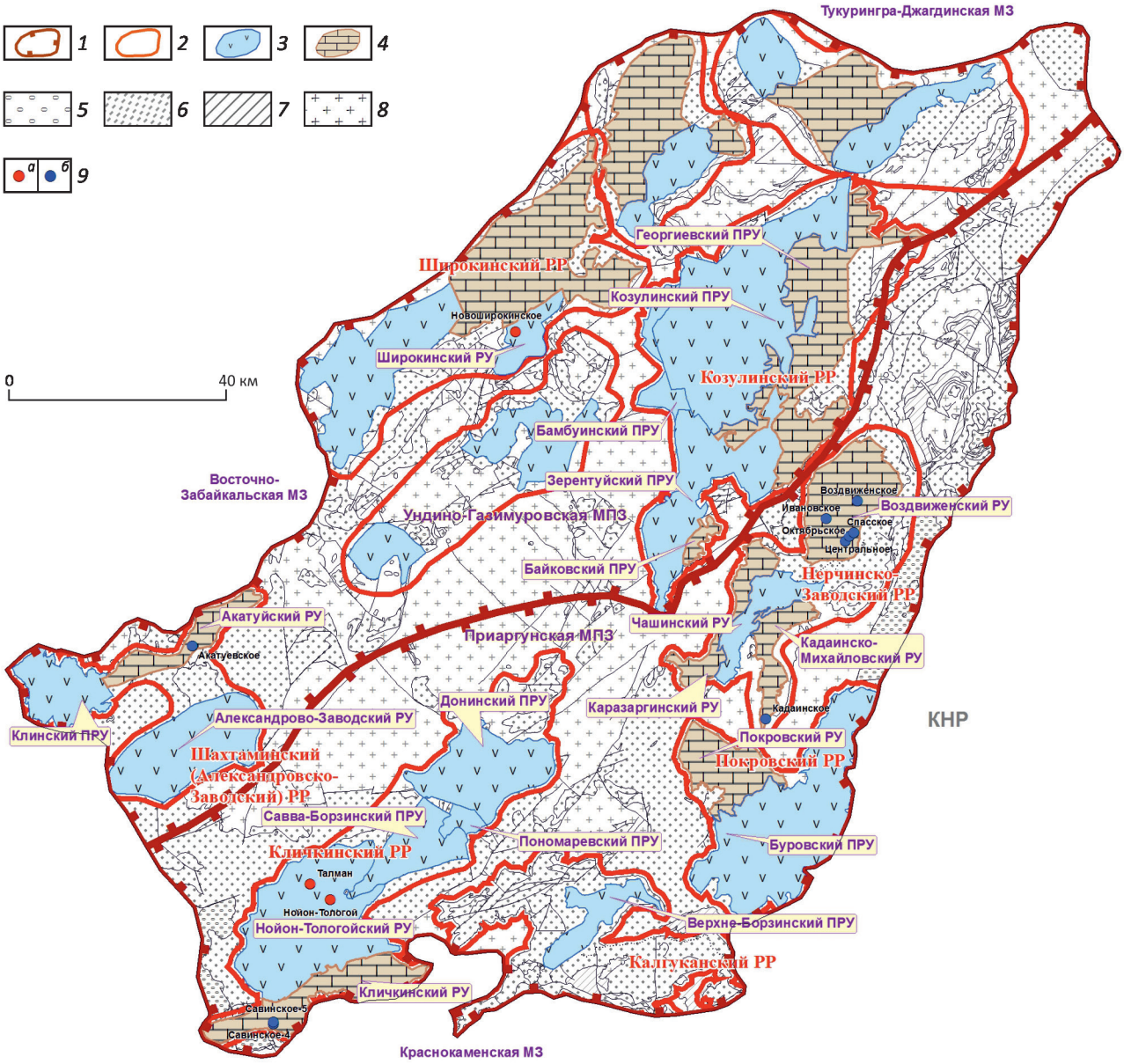

Рис. 1. Структурно-формационное и металлогеническое районирование Приаргунской СФЗ:

1 – граница металлогенической зоны и подзон; *2* – границы рудных районов; *3* – поля развития рудоносной вулканогенно-кремнисто-терригенной формации средне-верхнеюрского возраста (определяют границы рудных узлов Нойон-Тологойского типа); *4* – поля развития рудоносной карбонатно-терригенной формации венд-кембрийского возраста (определяют границы рудных узлов Приаргунского типа); *5* – надрудная угленосная молассовая формация; *6* – подрудная терригенная молассовая формация; *7* – подрудная сланцево-карбонатная формация; *8* – интрузивные массивы нерасчлененные; *9* – месторождения и рудопроявления: *а* – колчеданно-полиметаллические в осадочно-вулканогенных породах (Нойон-Тологойский тип), *б* – свинцово-цинково-колчеданные в терригенно-карбонатных породах (Приаргунский тип)

определяется общностью состава пород и их петрохимическими свойствами, а терригенные разрезы с прослоями бурых углей к нижней – среднемеловой угленосной молассе.

Верхнеюрский возраст вулканитов также подтверждается аналитическими исследованиями Л.П.Ищукова и И.С.Модникова: Для первой липаритовой и второй фельзит-липаритовой толщи тургинской свиты абсолютный

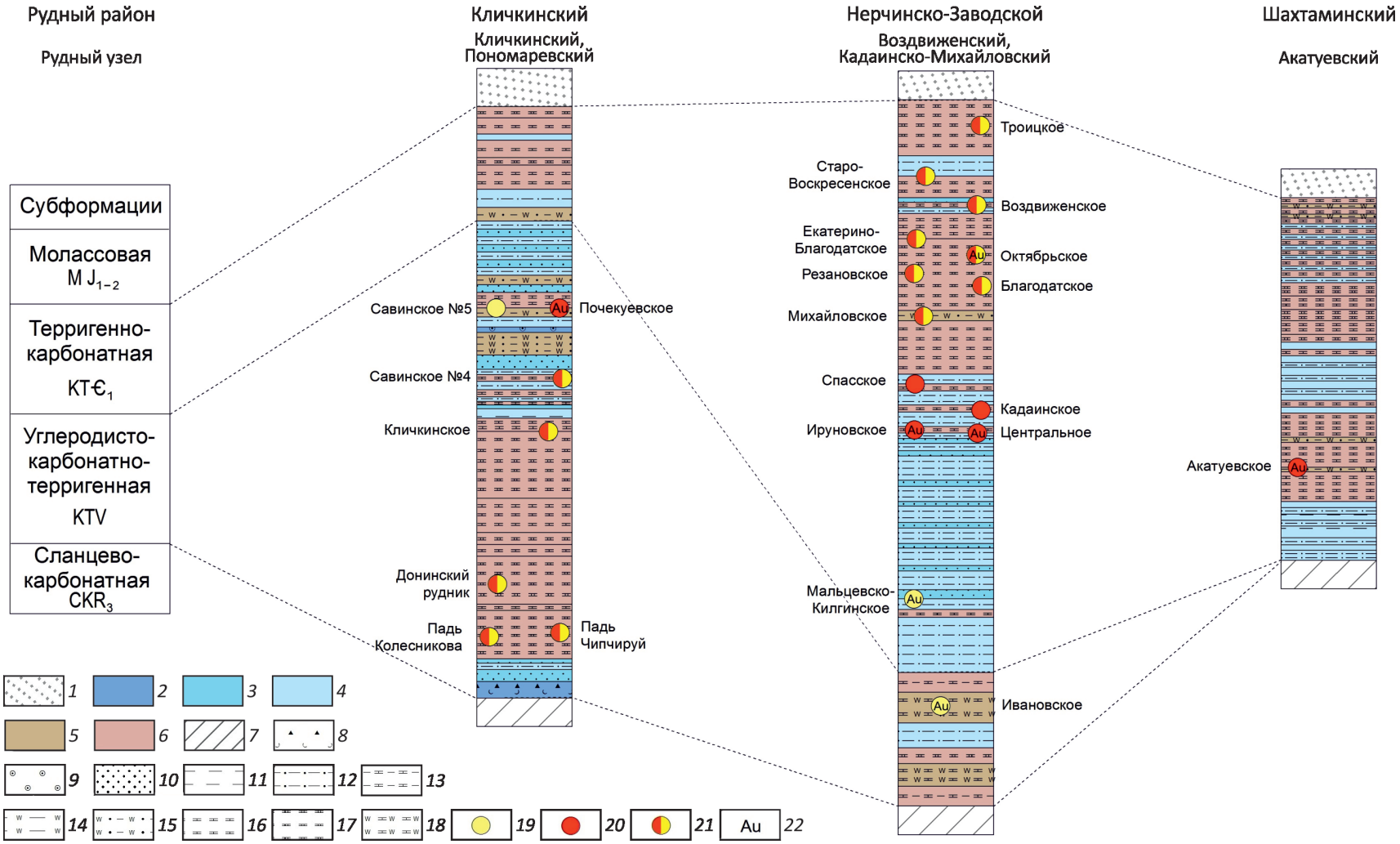

Рис. 2. Строение рудоносной венд-кембрийской карбонатно-терригенной формации в основных рудных районах и узлах:

1 – континентальная угленосная моласса; *2–6* – прибрежно-морская фациальная зона, фации: *2–5* – терригенные, *2* – крупнообломочные, *3* – среднеобломочные, *4* – мелко-тонкообломочные, *5* – углеродсодержащие, *6* – карбонатные; *7* – сланцево-карбонатный комплекс основания; *8–18* – литологические разности пород: *8* – туфобрекчии, *9* – гравелиты, *10* – песчаники мелко- и среднезернистые, *11* – алевролиты, *12* – аргиллиты, *13* – алевролиты известковистые, *14* – алевролиты углеродистые, *15* – аргиллиты углеродистые, *16* – известняки, *17* – доломиты, *18* – известняки углеродистые; колчеданно-свинцово-цинковый: *19* – с преобладанием цинка над свинцом, *20* – с преобладанием свинца над цинком, *21* – с примерно равным соотношением цинка и свинца; *22* – месторождения с повышенным содержанием золота (Au >1 г/т)

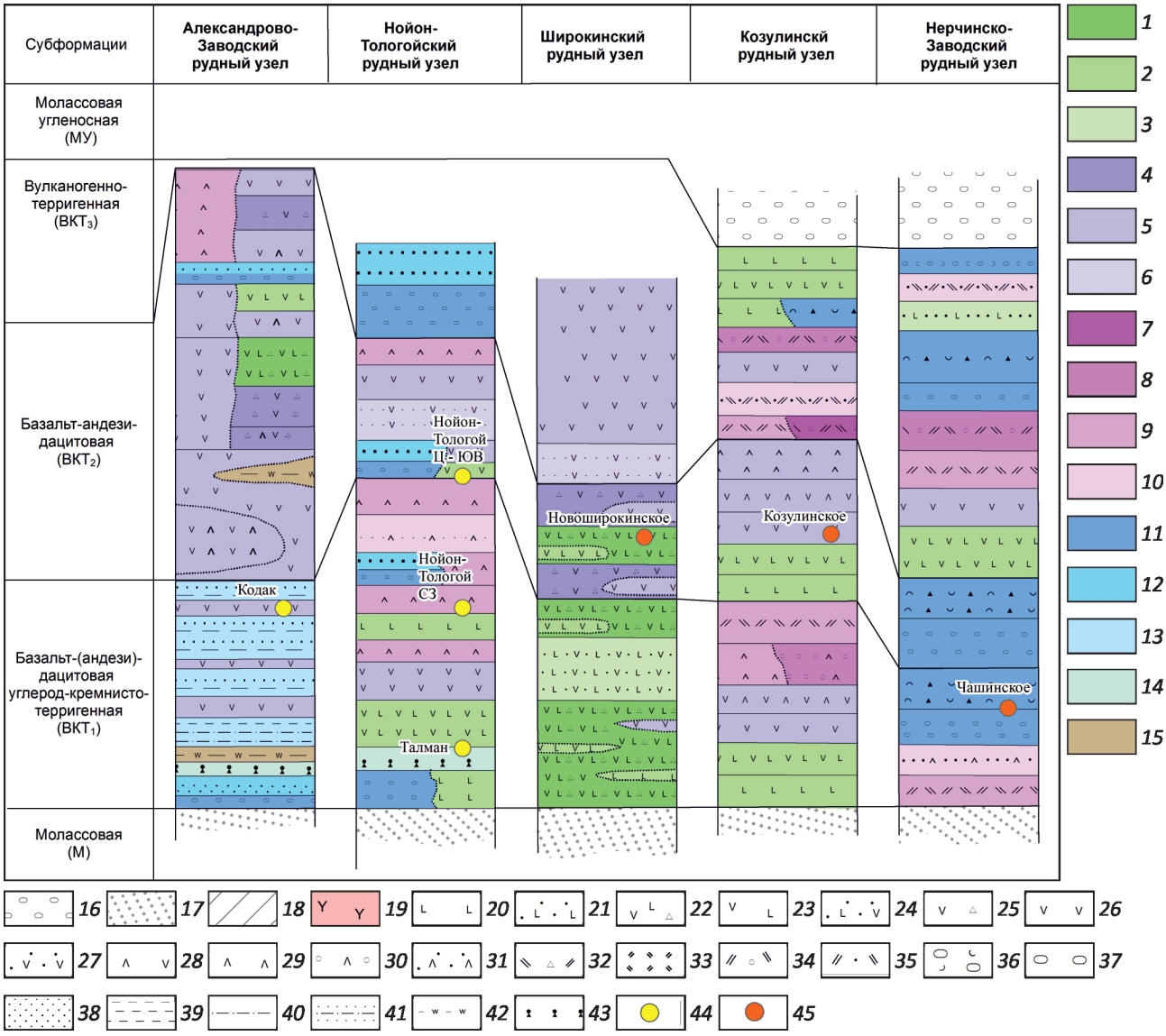

Рис. 3. Сопоставление рудоносных отложений средне-верхнеюрской вулканогенно-кремнисто-терригенной формации в основных рудных районах и узлах:

1–3 – фации вулканогенных пород основного состава: *1* – околожерловая зона, *2–3* – промежуточная зона; *4–6* – фации вулканогенных пород среднего состава: *4* – околожерловая зона, *5–6* – промежуточная зона; *7–10* – фации вулканогенных пород кислого состава: *7–8* – околожерловая зона, *9–10* – промежуточная зона; *11–15* – терригенные и карбонатно-терригенные отложения удаленной прибрежно-морской зоны: *11* – грубообломочные, *12* – среднеобломочные, *13* – мелкообломочные, *14* – градационно-слоистые, *15* – углеродистые и карбонатно-углеродистые; формация: *16* – надрудная угленосная молассовая, *17* – подрудная терригенная молассовая, *18* – подрудная сланцево-карбонатная; *19* – интрузивные массивы сиенитов; *20–43* – литологические разности пород, *20* – лавы базальтов, *21* – туфы базальтового состава мелкообломочные и среднеобломочные, *22* – лавобрекчии андезибазальтов, *23* – лавы андезибазальтов, *24* – туфы андезибазальтового состава мелкообломочные и среднеобломочные, *25* – лавобрекчии андезитов, *26* – лавы андезитов, *27* – туфы андезитового состава мелкообломочные и среднеобломочные, *28* – лавы андезидацитов, *29* – лавы дацитов, *30* – туфы дацитового состава грубообломочные, *31* – туфы дацитового состава мелкообломочные и среднеобломочные, *32* – лавобрекчии риодацитов, *33* – лавы риолитов, риодацитов, *34* – туфы риолитового, риодацитового состава грубообломочные, *35* – туфы риолитового и риодацитового состава мелкообломочные и среднеобломочные, *36* – туфоконгломераты, *37* – конгломераты, *38* – песчаники мелко- и среднезернистые, *39* – алевролиты, *40* – алевропесчаники, *41* – чередование алевролитов и песчаников, *42* – алевролиты углеродистые, *43* – конгломераты-песчаники, гравелито-песчаники градационно-слоистые; *44–45* – месторождения и рудопроявления: *44* – серебро-свинцово-цинкового минерального типа, *45* – золото-серебро-полиметаллического минерального типа

возраст составил 156–149±6 млн. лет, что соответствует определенному в той же работе возрасту позднеюрской приаргунской свиты – 175–150±7 млн. лет.

Изучение состава вулканогенных отложений вулканогенно-кремнисто-терригенной формации показало их неоднородность по кислотности-щелочности и соотношению щелочей в различных рудных узлах (вулкано-тектонических депрессиях) (рис. 4). Для Нойон-Тологойского рудного узла характерны вулканогенные породы низкощелочного и нормального рядов калиевой серии, а для Александрово-Заводского рудного узла – также вулканиты калиевой серии. Однако здесь широко развиты и субщелочные разности пород. В остальных рудных узлах вулканиты относятся к калинатровой серии нормального или субщелочного ряда. В соответствие с этой закономерностью изменяется и минеральный тип оруденения. С калиевыми вулканитами связано серебро-свинцово-цинковое оруденение, а с калинатровыми золото-серебро-полиметаллическое.

Формационные и фациальные характеристики структурно-формационных комплексов, отражающие тесные связи последних со свинцово-цинковым оруденением, широко применяются при прогнозных исследованиях и служат основой для определения возможности обнаружения на данной территории месторождений определенных рудно-формационных типов и проведения их прогнозной оценки. Указанные характеристики позволяют также локализовать прогнозные площади на уровнях: металлогеническая провинция–металлогеническая зона–рудный район–рудное поле–перспективный участок. При выделении металлогенических таксонов преимущественно используют структурно-формационные и литолого-фациальные карты соответствующих масштабов с рудной нагрузкой. В частности, на основе составленной структурно-формационной карты масштаба 1:500 000 и 1:200 000, выделяются рудные районы, контуры которых определяются рудовмещающими формациями, приуроченными к структурно формационным блокам первого порядка, отвечающим палеодепрессиям. Венд-кембрийские депрессии, сложенные карбонатно-терригенными отложениями, наследуются вулкано-тектоническими депрессиями и вулканическими впадинами, вмещающими средне-позднеюрскую вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию. Рудные районы выделены по полям распространения названных формаций, которые могут быть объединены в формационный комплекс. Такой подход позволяет уточнить контуры рудных районов и выделить рудные узлы, а при анализе более детальных геологических карт – рудные поля. В Приагунской СФЗ рудные узлы определяются развитием одной из рудоносных формаций, локализованных в пределах палеопрогибов, или вулкано-тектонических депрессионных структур.

На основании приведенных принципов оконтурена Приаргунская металлогеническая зона, подразделяющаяся на две подзоны: собственно, Приаргунскую и Ундино-Газимурскую, имеющие несколько различную металлогеническую специализацию (см. рис. 1).

В пределах Приаргунской металлогенической подзоны выделены (оконтурены) следующие рудные районы: Кличкинский, Калгуканский, Покровский и Нерчинско-Заводской. В состав Ундино-Газимурской подзоны входят: Шахтаминский, Широкинский, Козулинский и два вновь выделенных потенциальных рудных района (на схеме они оставлены без названия), а также ряд рудных узлов (см. рис. 1)

В пределах Приаргунской металлогенической зоны локализованы полиметаллические и колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенных ассоциациях (VHMS) и в осадочных толщах (SEDEX).

Месторождения в вулканогенных ассоциациях (VHMS). Формационный тип – колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных породах. К данному типу отнесены полиметаллического месторождения в мезозойских вулканогенно-осадочных образованиях (Нойон-Тологойский тип). Золото-серебро-полиметаллические или колчеданно-полиметаллические рудные тела представлены стратифицированными и штокверковыми жильными зонами и локализованы в вулкано-тектонических депрессионных структурах мульдообразной формы с пологими бортами (рис. 5). Рудные тела контролируются синвулканическими нарушениями и связанными с ними зонами трещиноватости. Субсогласные зоны контролируют пологозалегающие стратифицированные рудные тела, а крутопадающие – секущие напластование штокверковые зоны. Соотношение в составе формации кремнисто-терригенных и вулканогенных отложений определяется, с одной стороны, близостью вулкано-аппаратов (субвулканических отложений, относящихся к жерловым фациям вулканизма), а с другой, самим характером и интенсивностью вулканической активности в пределах рудных полей и месторождений. Отложения формации относятся к четырем фациальным зонам: жерловой, прижерловой, промежуточной и удаленной [7].

Образование стратифицированных и штокверковых жильных зон полиметаллических месторождений Приаргунья, приуроченных к юрским осадочно-вулканогенным отложениям, происходило в вулканических впадинах. Вулканогенный разрез характеризуется преобладанием основных и средних вулканитов. В резко подчиненном количестве наблюдаются покровы кислого состава. Таким образом, циклы вулканизма характеризуются последовательным характером дифференциации и гомодромным рядом.

Жерловые фации вулканизма представлены субвулканическими телами габбро-долеритов, долеритов, базальтов и андезибазальтов. Прижерловые фации характеризуются наличием в их пределах лавобрекчий, кластолав, крупнообломочных туфов основного и среднего составов. Промежуточные фации вулканизма характеризуются развитием лав от андезибазальтового до

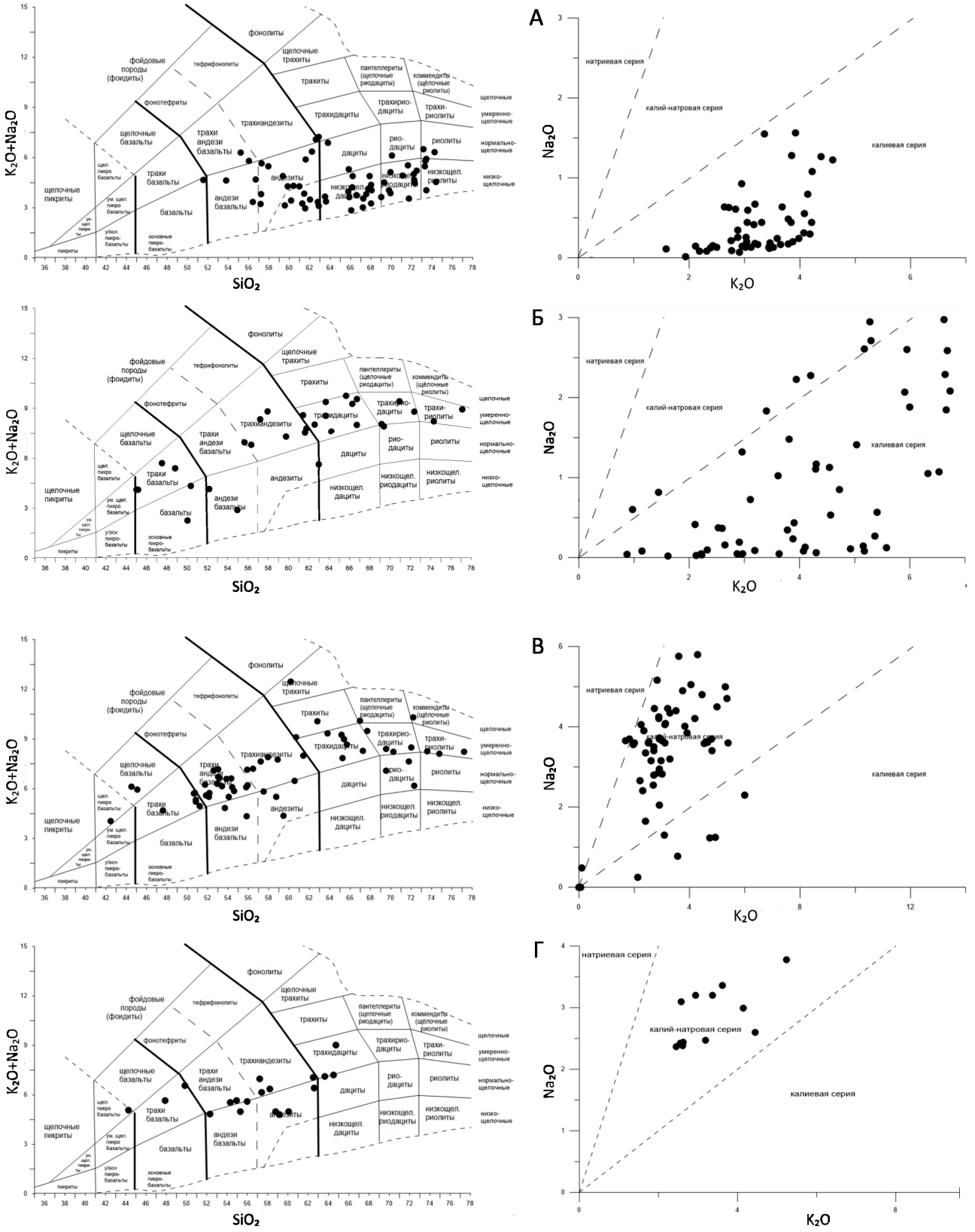

Рис. 4. Классификация вулканогенных пород по кислотности–щелочности и отношению основных щелочей:

рудный узел: А – Нойон-Тологойский, Б – Александрово-Заводской, В – Козулинский, Г – Ново-Широкинский

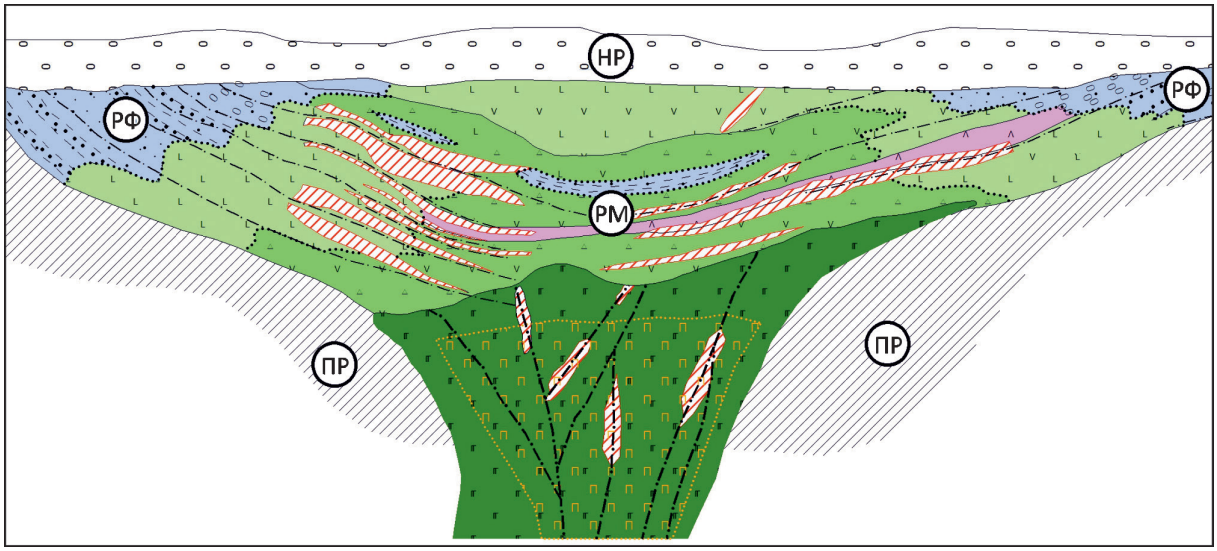

Рис. 5. Геометризованная модель месторождений Нойон-Тологойского типа:

отложения: РМ – рудовмещающие, РФ – фланговые, НР – надрудные, ПР – подрудные; см. условн. обозн. к рис. 3

дацитового состава, реже их туфов. Удаленные фации представлены туфогенными алевролитами, глинистыми, глинисто-кремнистыми, кремнистыми, реже туфогенными песчаниками и туффитами.

На флангах разрез формации значительно изменяется – резко увеличивается количество отложений удаленных фаций вулканизма (алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов). Характерная особенность этой части разреза формации – примесь туфогенного (пеплового) материала во всех разностях пород. Еще одной характерной особенностью вулканогенно-осадочной части разреза является наличие горизонта ритмично градационно-слоистых гравелито-песчанников, содержащего до пяти крупных ритмов с ярко выраженной градационной слоистостью.

Золото-серебро-полиметаллическое оруденение месторождений представлено послойными или секущими вмещающие вулканогенно-осадочные породы зонами сульфидных руд прожилковой, прожилково-гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстуры. В меньшей степени развиты жилы и линзы мощностью первые десятки сантиметров, сложенные сульфидными агрегатами массивной текстуры.

В зависимости от изменения щелочности вулканитов выделяются минеральные типы месторождений. С вулканизмом калиевого ряда связаны месторождения серебро-свинцово-цинкового минерального типа (Нойон-Тологой, Талман, Кодак), а кали-натрового – золото-серебро-полиметаллические (Ново-Широкинское, Чашинское и др.).

Минеральный состав руд (Л.В.Сердюк, 2003; Т.П.Кузнецова, 2015) характеризуется большим разнообразием. Выделяются следующие минеральные типы руд, обусловливающие вертикальную зональность рудных залежей, – галенитовый, галенит-сфалеритовый, сфалерит-пиритовый, пирит-арсенопирит-галенит-сфалеритовый с сульфосолями свинца и серебра, арсенопирит-пиритовый. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит; второстепенные и редкие – буланжерит, джемсонит, арсенопирит, тетраэдрит, марказит, халькопирит, бурнонит, касситерит и самородные серебро, висмут и золото, молибденит, станин, киноварь.

Месторождения в осадочных толщах (SEDEX). Формационный тип – свинцово-цинково-колчеданный в терригенно-карбонатных породах – Приаргунский (Нерчинско-Заводской). Руды приурочены к карбонатно-терригенной формации венда–нижнего кембрия, которая подразделяется на две субформации: нижнюю – углеродисто-карбонатно-терригенную (V) и верхнюю – углеродисто-терригенно-карбонатную ($Є_{1-2}$).

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация сложена углеродисто-глинистыми, кварцево-слюдистыми алевролитами, метаморфизованными песчаниками и алевролитами или ритмичной пачкой, состоящей из чередования терригенных и карбонатных отложений.

Углеродисто-терригенно-карбонатная субформация является наиболее продуктивной для оруденения, сосредоточив в себе более 90% запасов свинца и цинка месторождений Приаргунского типа, и представлена переслаивающимися пачками водорослевых, кремнистых доломитов и хемогенных известняков с прослоями глинистых сланцев и алевролитов, линзами осадочных карбонатных брекчий, реже – конгломератов. В средней

части разреза отмечается флишоидная толща, сложенная глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с прослоями известняков, доломитов кремнистых пород и туфопесчанников. В Нерчинско-Заводском рудном районе в составе субформации преобладают доломиты, доломитовые известняки и известняки с прослоями глинистых, мергелистых и углеродистых алевролитов.

Отложения формации относятся к следующим генетическим типам пород: 1) механогенные отложения карбонатного и силикатного составов, карбонатные турбидиты, тиховодные пелагические отложения силикатного состава, оползневые карбонатные отложения, брекчиевые, связанные с оползневыми процессами; 2) хемогенные тиховодные пелагические карбонатные отложения; 3) хемогенные со значительной долей эксгаляционного материала.

В разрезе формаций трудно выделить значительные участки, сложенные только одним из перечисленных типов отложений, удается наметить только преобладание одного из них. Характерной особенностью турбидитов является присутствие значительных количеств мелко-, тонкообломочного карбонатного материала в составе градационных ритмов. Появление здесь турбидитов указывает на общий глубоководный характер всех отложений формации. Судя по размерности обломочной фракции градационных серий, турбидиты относятся к дистальному типу. Часть их отлагалась, по-видимому, из низкоплотностных мутьевых потоков. К тиховодным пелагическим отложениям силикатного состава относятся углеродсодержащие глинистые, алеврито-глинистые сланцы. Алевритовая составляющая в отложениях обязана своим происхождением эоловому выносу, зрелого в минералогическом отношении, кварцевого материала. Одновременное обогащение сланцев углеродистым планктоногенным и эоловым кварцевым материалом, свидетельствует о сравнительно низких скоростях общего осадконакопления во время формирования отложений. Оползневые карбонатные отложения фациально связаны с карбонатными турбидитами, имеют в целом незначительное развитие, указывая на непосредственную близость склона или на существование крупных положительных аккумулятивных форм рельефа (турбидитные конусы выноса). Брекчиевые отложения фациально переходят в оползневые отложения и трубидиты. Хемогенные тиховодные пелагические отложения соответствуют литотипу кристаллически-зернистых, «массивных» известняков с равномерно распределенной терригенной алеврито-глинистой примесью. Хемогенные отложения со значительной долей эксгаляционного материала соответствуют литотипу железистых, кремнистых доломитов.

В пределах формации выделяются минеральные типы месторождений: существенно цинковый, существенно свинцовый и свинцово-цинковый, образующие вертикально-латеральные ряды, связанные с фациальными особенностями рудовмещающего разреза.

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация включает в себя существенно цинковый тип с соотношением Pb:Zn=1,0:(2,2–4,0). Эталонными являются месторождения Савинское 5 и Ивановское. В рудоносной части разреза Савинского 5 принимает участие углеродистая известково-алевролитовая толща, на флангах наблюдается сокращение углеродистой составляющей. Оруденение Ивановского месторождения приурочено к карбонатно-сланцевым породам толщи. В различных рудных районах присутствуют более мелкие месторождения и рудопроявления свинцово-цинкового типа (Кличкинское и др.).

В углеродисто-терригенно-карбонатной субформации выделяются два преобладающих минеральных типа: существенно свинцовый и свинцово-цинковый.

В разных рудных районах (см. рис. 2) существенно свинцовый тип (Кадаинское, Акатуевское и др.) с соотношением Pb:Zn=(2,0–13,0):1,0 локализуется в породах нижнего кембрия и преобладает над месторождениями и рудопроявлениями свинцово-цинкового типа (Покровское и др.). Месторождения данного типа характеризуются высокими содержаниями золота и серебра. Наиболее богатыми объектами являются Акатуевское (Au 2–2,5 г/т, Ag 243 г/т) и Ируновское (Au 1,03 г/т, Ag 182,8 г/т).

Выше по разрезу субформации выделяется свинцово-цинковый тип с примерно равным содержанием свинца и цинка (Михайловское, Воздвиженское и др.). В отличие от вышеупомянутых минеральных типов, свинцово-цинковый имеет повсеместное распространение в вертикально-латеральном ряду. Характерная черта данного типа – высокое содержание серебра (в среднем 120 г/т).

В целом месторождения приаргунского типа содержат высокие содержания серебра, а содержания золота распределены неравномерно. По-видимому, повышенная золотоносность ряда месторождений (Ивановское, Акатуевское, Центральное, Ируновское) связана с близостью зон подводящих каналов и поздним привносом золота в ассоциации с шерловым турмалином. Согласно *модели месторождений, локализованных в терригенно-карбонатной субформации кембрийского возраста* (рис. 6), на участке месторождений развиты стратифицированные образования, которые представлены известняками, доломитами и их переходными разностями с прослоями алевролитов глинистых, кремнистых (до фтанитов) и углеродистых ($C_{орг}$ 0,8–5,8% и известковистость до 10%). Рудные тела залегают согласно напластованию вмещающих пород в пологих палеовпадинах и приурочены к контактам известняков с доломитами и углеродистыми алевролитами. Для месторождений характерны стратиформные и секущие рудные тела, контролируемые разрывными нарушениями северо-западного направления, которые характеризуют зону подводящего канала.

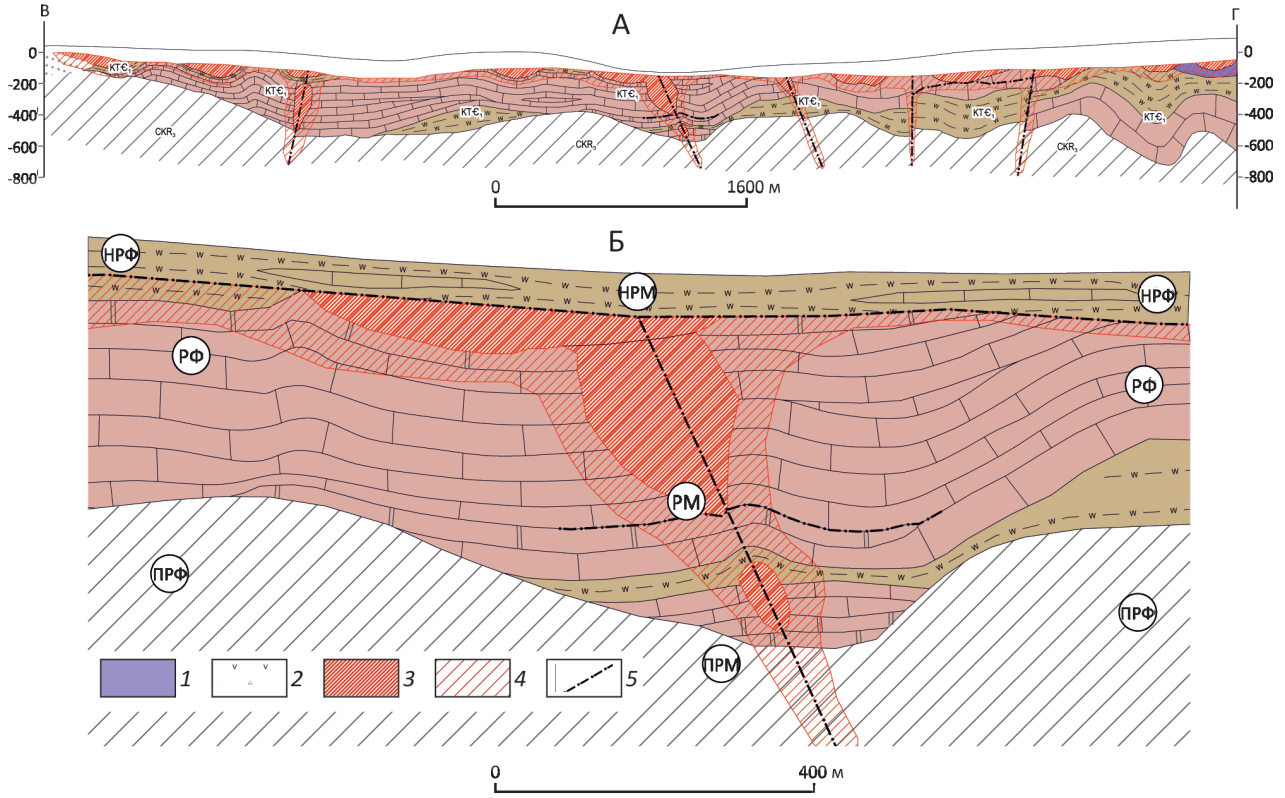

Рис. 6. Схематический литолого-фациальный продольный разрез через месторождение Акатуй (А) и геометризованная модель месторождений, локализованных в терригенно-карбонатной субформации кембрийского возраста (Б). *С использованием материалов* [9]:

1 – фация вулканогенных пород среднего состава околожерловой зоны; *2* – лавобрекчии андезитов; *3* – колчеданно-свинцово-цинковые руды; *4* – зоны минерализации; *5* – разрывные нарушения; см. условн. обозн. к рис. 2

По составу руд месторождения являются типичными серебро-свинцово-цинковыми. Кроме основных компонентов, в рудах отмечаются примеси ряда элементов, промышленное значение из которых имеют серебро, сурьма, кадмий.

Серебро-свинцово-цинковые руды месторождений описаны многими исследователями [5, 9, 12 и др.]. Руды рассматриваемых месторождений имеют близкий минеральный состав. В то же время, отмечаются большие вариации содержаний главных и второстепенных минералов. В числе главных рудных минералов на всех месторождениях отмечаются пирит, галенит, сфалерит. В рудах ряда месторождений широко развиты также марказит, буланжерит, геокронит и арсенопирит. К второстепенным и редким минералам относятся касситерит, станнин, блёклая руда, пирротин, бурнонит, джемсонит, плагионит, антимонит, халькопирит, прустит, пираргирит. В единичных зернах встречаются менегинит, маухерит, галеновисмутит, макинавит, семсейит. В жильной матрице руд всегда присутствуют доломит, кальцит, кварц, в меньших количествах встречаются анкерит, альбит, серицит, тальк, хлорит. Характерно частое наличие турмалина. Перечисленные минералы образуют несколько парагенетических минеральных ассоциаций, отвечающих различным этапам их формирования от гидротермально-осадочного до метаморфогенного.

Решение вопросов условий и механизма формирования месторождений является первостепенным при прогнозных исследования, так как от правильного понимания происхождения месторождений зависит комплекс поисковых предпосылок и признаков.

Размещение колчеданных месторождений определяется положением центров длительной эндогенной активности, что обеспечивало существенную продолжительность функционирования магматогенных субмаринных гидротермальных систем [3].

Положение рудных тел венд-кембрийских месторождений Приаргунья в разрезе контролируется тонким чередованием карбонатных и терригенных, в том числе углеродистых пород. Такое положение оруденения прослеживается на многие сотни метров как по падению, так и по простиранию рудных зон.

Таким образом, основные рудные тела месторождений располагаются очень компактно, захватывая стратиграфический интервал от 50 до 150 м, редко до 200 м.

Ранее Д.Н.Алексеевым [1] было обосновано первичное гидротермально-осадочное происхождение руд данного типа месторождений вопреки господствующей в то время точке зрения, когда главенствующая роль в происхождении руд отводится поздней тектоно-магматической активизации [4]. Полученные авторами данной публикации данные подтверждают и развивают точку зрения Д.Н.Алексеева.

Изучение и анализ макро- и микротекстур и структур сульфидов – основа для правильного понимания стадийности процесса рудообразования. Минералогические особенности первичных руд и их метаморфические преобразования изучены на Воздвиженском, Михайловском, Кадаинском, Акатуевском, Савинском 5 и других месторождениях и рудопроявлениях.

Гидротермально-осадочный этап рудообразования. На этом этапе сформировалась колломорфные выделения с хорошо выраженными зональными почками, тонкозернистыми землистыми массами (мельниковит-пирит), а также фрамбоидами. В подчинённом количестве наблюдаются почки сложного состава – зональные, состоящие из чередования зонок пирита, галенита и сфалерита. Обращает на себя внимание, что данные структурные формы полностью идентичны структурам ловушечного материала, собранного в 3-х метрах от основания трубы «черного курильщика» на поле Брокен Спур (постройка «Сарацин Хед») [10].

Кроме выраженных почек, пирит может образовывать дисперсные или землистые массы. В ряде случаев среди первичных образований широко представлен фрамбоидальный пирит.

Фрамбоиды пирита группируются в скопления до 0,5 мм и ассоциируют с ранними галенитом и сфалеритом, иногда образуют обогащённые слойки в микрослоистых рудах, зафиксированы также фрамбоиды в виде вкрапленников в сфалерите.

Сфалерит данной ассоциации из-за большей пластичности редко сохраняется в первоначальном виде и обычно представлен тонким (размер зёрен сотые доли миллиметра) агрегатом мозаичного строения. Галенит в подчинённом количестве присутствуют в микрослоистых рудах и локализуется в зональных почках. К парагенезису текстурных форм гидротермально-осадочного этапа относятся горизонтально-слоистая, ритмично-слоистая, линзовидно-слоистая, массивная и брекчиевая текстуры. Слоистые текстуры обусловлены чередованием прослоев с различным содержанием сульфидов, в ритмично-слоистых текстурах такое чередование закономерно. Кроме того, в макрослойках подобных руд отмечалось появление микрослоистости, выражающееся в распределении рудных минералов. Иногда в слоистых рудах наблюдается убывание крупности зерен от подошвы слоя к кровле. В рудах брекчиевой текстуры обломки руд различного состава (главным образом, пиритового и пирит сфалеритового с подчиненным количеством галенита) цементируются нерудным веществом, иногда с небольшой примесью сульфидов. Рудные обломки состоят из пирита, сфалерита и галенита в различных соотношениях, почти во всех обломках можно проследить первичные зональные почки или их реликты.

На всех изученных месторождениях проявлен интенсивный контактовый и дислокационный метаморфизм, который приводит к перекристаллизации первичных руд и их частичной мобилизации. Рудные тела на этом этапе совместно с вмещающими породами смяты в серии изоклинальных складок различных порядков. При этом происходит обогащение ядерных частей складок галенитом с образованием богатых существенно свинцовых руд.

Механизм образования средне-позднеюрских стратифицированных рудных тел месторождений Нойон-Толойского типа принципиально иной. Наличие признаков эпигенетичности рудообразования – жильные, прожилковые, прожилково-вкрапленные текстуры, широко развитые на месторождениях, в совокупности со стратифицированным характером залегания рудных тел, позволяют сделать вывод о том, что формирование полиметаллических месторождений этого типа происходило преимущественно в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного отложения путем метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболитифицированных осадков. Облик рудных залежей данных месторождений значительно различается. Возможно, происходило как послойное замещение осадочных пород, так и заполнение трещин в интрузиях и пустого пространства между неконсолидированными вулканогенными отложениями. Установлено, что образованные при этом сульфиды, частично и полностью замещают фрамбоидальные (бактериогенные) сульфиды, послужившие ядрами, на которые в последствие осаждался дополнительный сульфидный материал. Данные текстуры руд согласовываются с обобщенной моделью для месторождений, образованных путем придонного переотложения. В этой модели отражены условия, в которых холодная морская вода проникает в поровые пространства несцементированных осадочных отложений, вулканокластических пород или трещиноватых вулканических пород до и во время перерывов гидротермальной активности. Восстановленная сера и фрамбоидальный пирит, а также холодная вода в порах, обеспечивали термический, окислительно-восстановительный и химический градиенты, в условиях которого происходит апвеллинг гидротермальной жидкости. При таких условиях поднимающиеся гидротермальные жидкости смешиваются с холодной водой, что приводит к осаждению сульфидов не только на границе сред, но также и в придонных частях путем переотложения [14].

Приведенный фактический материал позволяет сделать некоторые общие выводы.

Рудоносными (рудовмещающими) в пределах Приаргунской СФЗ являются венд-кембрийские карбонатно-терригенные и средне-верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения, объединяющиеся соответственно в карбонатно-терригенную и вулканогенно-кремнисто-терригенную формации.

Изучение состава вулканогенных отложений вулканогенно-кремнисто-терригенной формации показало их неоднородность по кислотности-щелочности и соотношению щелочей в различных рудных узлах (вулкано-тектонических депрессиях). Выделяются две группы вулканитов низкощелочного, нормального и субщелочного ряда калиевой серии и вулканиты калинатровой серии нормального или субщелочного ряда.

На основании проведенного структурно-формационного, литолого-фациального и палеоструктурного анализов выделяются рудные районы, контуры которых определяются рудовмещающими формациями, приуроченными к структурно-формационным блокам первого порядка, отвечающим палеодепрессиям. Венд-кембрийские депрессии, сложенные карбонатно-терригенными отложениями, наследуются вулкано-тектоническими депрессиями и вулканическими впадинами, вмещающими средне-позднеюрскую вулканогенно-кремнисто-терригенную формацию. Поэтому рудные районы выделены по полям распространения названных формаций, которые могут быть объединены в формационный комплекс, а рудные узлы – по развитию одной из рудоносных формаций, локализованных в пределах палеопрогибов, либо вулкано-тектонических депрессионных структур.

В пределах Приаргунской металлогенической зоны локализованы полиметаллические и колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенных ассоциациях (VHMS) и в осадочных толщах (SEDEX). Месторождения в вулканогенных ассоциациях (VHMS): формационный тип – колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных породах. К данному типу отнесены месторождения в мезозойских вулканогенно-осадочных образованиях (Нойон-Тологойский тип). Золото-серебро-полиметаллические или колчеданно-полиметаллические рудные тела представлены стратифицированными и штокверковыми жильными зонами и локализованы в вулкано-тектонических депрессионных структурах с пологими бортами мульдообразной формы. Месторождения в осадочных толщах (SEDEX): формационный тип – свинцово-цинково-колчеданный в терригенно-карбонатных породах – Приаргунский (Нерчинско-Заводской). (Золото)-серебро-свинцово-цинковые руды приурочены к вулканогенно-карбонатно-терригенной формации венда–нижнего кембрия.

Рудные тела стратиформных месторождений Приаргунского типа сформированы в два этапа: гидротермально-осадочный и метаморфогенный. Механизм образования средне-позднеюрских стратифицированных рудных тел месторождений Нойон-Толойского типа принципиально иной. Формирование полиметаллических месторождений этого типа преимущественно происходило в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного отложения рудных залежей путем метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболитифицированных осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Д.Н.* Стратиформное свинцово-цинковое оруденение Забайкалья и Прибайкалья // Литология и полезные ископаемые. № 5. 1975. С. 93–102.
2. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. Масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-50 (Борзя). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2006.
3. *Викентьев И.В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М.: Научный мир, 2004.
4. *Горжевский Д.И., Козеренко В.Н.* О происхождении свинцово-цинковых месторождений // Советская геология. 1971. № 7. С. 34–46.
5. *Добровольская М.Г., Шадлун Т.Н.* Минеральные ассоциации и условия формирования свинцово-цинковых руд. – М.: Наука, 1974.
6. *Козеренко В.Н.* Геологическая характеристика Приургунской полиметаллической зоны // Тр. ИГЕМ АН СССР. Вып. 83. 1963.
7. *Кузнецов В.В.* Геолого-генетические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Сибири // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы. – М., 2016.
8. *Кузнецова Т.П.* Минеральное разнообразие серебро-полиметаллических руд месторождения Нойон-Тологой в Восточном Забайкалье // Минеральное разнообразие исследование и сохранение. – София, 2015.
9. *Кузнецов К.Ф., Мейтув Г.М.* Геохимия редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. – М.: Наука, 1967.
10. *Русаков В.Ю.* Сравнительный анализ минерального и химического состава дымов «черных курильщиков» гидротермальных полей ТАГ и Брокен Спур (Срединно-Атлантический хребет) // Геохимия. 2007б. № 7. С. 766–785.
11. *Санина Б.П., Зориной Л.Д.* Формации свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. – М.: Наука, 1980.
12. *Смирнов С.С.* Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
13. *Сердюк. Л.В.* Метасоматические и рудные формации Южного Приаргунья // Дис. … канд. геол.-минер. наук. – Иркутск, 2003.
14. *Stephen J., Piercey A.* semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits // Economic Geology. Vol. 110. P. 1655–1660.