текстурой, а последующие области обладали слоистой текстурой, чаще с элементами сферолитового строения. Тоже самое можно сказать и относительно структур: наиболее часто агрегат сочетал в себе участки с различными структурами. Например, на фоне кристаллической или зернистой (криптовой) структуры часто наблюдались участки радиально-лучистых или сферолитовых образований, а наружная часть агрегата слагалась дендритами или беспорядочно ориентированными в пространстве одиночными кристаллами слагающего его вещества.

Классификация уролитов осложняется тем, что они очень часто имеют посторонние включения, трещины и полости, признаки перерывов в процессе роста, следы растворения ранее образованных слоев и прочие детали, которые также необходимо учитывать в связи с тем, что все они свидетельствуют о различных изменениях условий образования агрегата, а следовательно, содержат богатую информацию о его генезисе. Кроме того, характерной чертой строения каждого уролита является определенная ритмичность в росте, возникающая вследствие цикличности протекания физиологических процессов в организме человека. Именно благодаря этому явлению подавляющее большинство мочевых камней имеет ярко выраженное зонально-цикличное строение и характеризуется чередованием слоев разного состава. Это объясняется тем, что разные вещества кристаллизуются при определенных значениях кислотности среды (pH), подверженных в живом организме периодическим колебаниям. В некоторых из изученных образцов эта особенность прослеживалась довольно ярко и давала возможность выделить элементы, подчеркивающие ритмичность роста: слой (горизонт вещества, имеющий однородную окраску и четкие границы), зону (группу слоев, отделенных от соседних групп горизонтами темного вещества с неясной структурой) и ритм (группу зон одинакового строения, отделенных друг от друга мощными прослоями бесструктурного вещества). Поэтому данный признак тоже должен учитываться как классификационный.

На основании полученных результатов можно заключить, что бóльшая часть изученных объектов укладывается в классификационные рамки, однако соответствует промежуточным типам. Поэтому рассмотренную классификацию следует расширить, исходя из представлений о комбинации различных текстур и структур в рамках одного образования, а также ввести в нее некоторые элементы, учитывающие ритмический рост агрегата и различные изменения в процессе его роста.

Научный руководитель профессор, д.г.-м.н. *М.А.Иванов*

УДК 550.837

А.И.КУЛИКОВ
Геолого-разведочный факультет, студент группы РФС-96,
ассистент профессора

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ АВТОДОРОГ ЖЕСТКОГО ТИПА

Применение метода георадиолокации при обследовании автомобильных дорог жесткого типа позволяет выполнять промеры конструктивных слоев автодороги и обеспечивает непрерывное обследование грунта землеполотна. Основным преимуществом этого метода является высокая деталь-

ность изучения разреза и его производительность. Выполнение георадиолокационной съемки возможно в движении с использованием транспортного средства. Разрешающая способность исследований зависит от частоты зондирующего импульса георадара. Для промеров конструктивных слоев дорожного покрытия, как правило, используют антенны с центральными частотами 900 МГц и более, которые обеспечивают точность промеров до 1 см. При определении мощности и степени однородности дренажного слоя грунта, литологического расчленения насыпи, поиска локальных неоднородностей, которые могут быть связаны с различной степенью разуплотнения и влажности грунтов, используют низкочастотные антенны (500, 300 МГц), позволяющие изучать разрез на глубину до 10 м при разрешающей способности 0,3-0,5 м. Для идентификации слоев на георадарограммах и определения скоростей электромагнитных волн в конструктивных слоях автодороги привлекают данные бурения. По данным бурения проводится регрессионный анализ, который позволяет выявить характер функциональной связи мощности слоев и двойного времен пробега электромагнитных волн. Как показали выполненные исследования, между этими параметрами коэффициент корреляции довольно велик (0,7 и более), что обеспечивает достаточную точность определения мощностей конструктивных слоев.

Application of geological radar-location method in testing of hard-top motor roads enables measuring of construction layers of the road and continuous investigation of the road-bed rocks. The main advantages of this method are high-detailed study of the section and high productivity of the investigation. Execution of the radar-location survey can be done in motion using a vehicle. Resolving capacity of the survey depends on the frequency of the probing impulse of the radar. To measure construction layers of the road, as a rule, 900 MHz antennae are used, which provide measuring precision up to 1 cm. To determine thickness and uniformity of the drainage layer, lithologic division of the embankment, as well as to search of local uniformities, which might be connected with different degree of thinning and humidity of the soils, low-frequency antennae (500, 300 MHz) are used, that allow the section study to the depth of up to 10 m and precision of 0.3-0.5 m. To identify layer at the radar diagrams and to determine rates of electromagnetic waves in the construction layers of the road, drilling data are used. Basing on the drilling data a regressive analysis is carried out, enabling determination of the functional dependence between the thickness of layers and doubled time of the electromagnetic wave range. According to the carried out investigations, the correlation co-efficient of these parameters is rather high (0.7 and more), which provides acceptable accuracy of the construction layer thickness estimation.

Метод георадиолокационного зондирования (ГРЗ) широко применяется за рубежом для неразрушающего контроля состояния автомобильных дорог [4].

Целью данной работы являлось развитие интерпретационной базы и повышение эффективности метода георадиолокации при решении задач дефектоскопии автомобильных дорог.

Для достижения этой цели было выполнено: разработка базовых геоэлектрических моделей изучаемых объектов; математическое моделирование волновых электромагнитных полей для горизонтально-слоистой модели дорожной одежды; опробование результатов теоретических исследований при изучении состояния автодорог в условиях Санкт-Петербурга, Ленинградской области и других регионов.

Математическое моделирование волновых полей для моделей и реальных сред позволяет оценить влияние отдельных элементов или параметров изучаемой среды на волновое поле. Данные моделирования позволили оценить возможности и ограничения метода георадиолокации при решении практических задач.

Моделирование электромагнитных полей было выполнено в лучевом приближении для совмещенных передающей и приемной антенны, без учета искажения формы импульса и потерь, связанных с геометрическим расхождением фронта волны. Расчет волновых полей производился для одномерной модели разреза дорожной одежды. В этой модели реальная среда аппроксимируется последовательностью однородных слоев известной мощности с заданными диэлектрическими свойствами. Моделирование электромагнитных волновых полей осуществляется во временно́й области путем расчета отклика модели среды на единичный импульс. Импульсная характеристика однородной модели представляет собой трассу, имеющую ненулевые значения в моменты прихода отраженных электромаг-

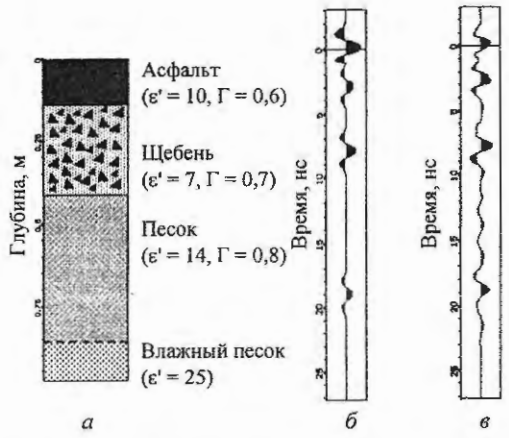


Рис.1. Результаты моделирования волнового электромагнитного поля для горизонтально-слоистой модели: *а* – модель дорожной одежды; *б* – синтезированная трасса; *в* – практическая трасса

нитных волн в точку расположения приемной антенны. На рис.1 приведены результаты моделирования электромагнитной волновой трассы (рис.1, *б*) модели дорожной одежды (рис.1, *а*), которые хорошо согласуются с практическими данными (рис.1, *в*).

При обследовании автомобильных дорог жесткого типа георадиолокационные исследования используют для решения двух задач: первая связана с промерами мощностей конструктивных слоев дорожной одежды, а вторая – с изучением состояния основания дороги и выявлением дефектов, образующихся под действием природных и техногенных факторов.

Для промеров конструктивных слоев дорожного покрытия, как правило, используют антенны с центральными частотами

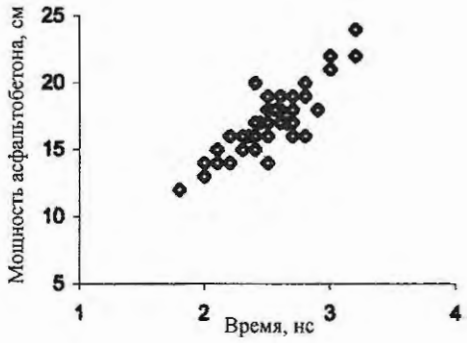


Рис.2. Поле корреляции данных ГРЗ и бурения

900 МГц и более. При высокоточных определениях мощности и числа слоев асфальтобетона привлекают антенны с частотами 1.5 и 2 ГГц, которые обеспечивают точность промеров до 1 см [2].

Технология ГРЗ, в отличие от бурения, обеспечивает не «точечное», а непрерывное обследование дороги без нарушения целостности ее покрытия. Данные ГРЗ изображаются в виде георадарограмм, которые отражают распространение электромагнитных волн в разрезе дороги. Для построения разрезов на основании георадарограмм необходимы данные бурения скважин, которые позволяют рассчитать скорости распространения электромагнитных волн в среде (рис.2), определить электрофизические параметры и состав слоев дорожной одежды и преобразовать временно́й разрез в глубинный (рис.3).

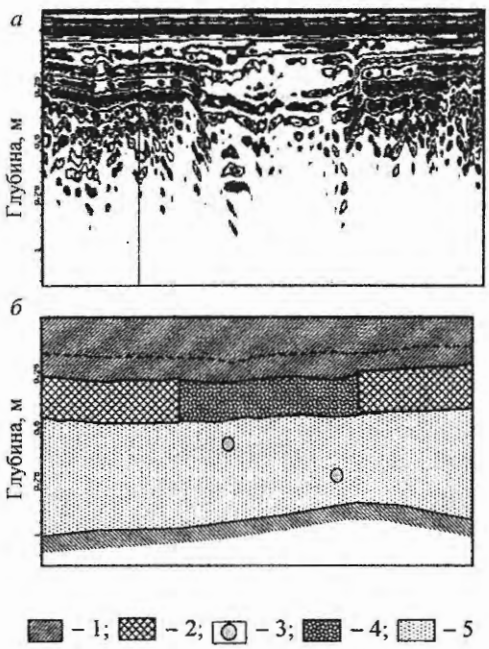


Рис.3. Разрез дорожной одежды (*б*), построенный на основании георадарограммы (*а*)
1 – асфальтобетон; 2 – железобетонная плита; 3 – локальные неоднородности; 4 – гравий; 5 – песок

На этапе определения состояния земельного полотна метод георадиолокации используют для определения мощности и степени однородности дренажного слоя грунта, литологического расчленения насы-

пи, поиска локальных неоднородностей, которые могут быть связаны с различной степенью разуплотнения и влажности грунтов. При решении этих задач используют низкочастотные антенны (500, 300 МГц), позволяющие при благоприятных условиях изучать разрез на глубину до 10 м при разрешающей способности 0,3-0,5 м [1].

Данные георадиолокации могут быть использованы не только для оценки состояния элементов земляного полотна, но и для прогноза его устойчивости [3].

Метод ГРЗ применялся при обследовании автодорог в Санкт-Петербурге, Северо-Западном регионе и Калининграде. Полученные экспериментальные зависимости соответствуют опубликованным результатам физического моделирования, а рассчитанные волновые электромагнитные поля хорошо согласуются с практическими георадарограммами. Результаты исследований подтверждены буровыми работами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владов М.Л.* Георадиолокационные исследования верхней части разреза: Учеб. пособие / М.Л.Владов, А.В.Старовойтов. М.: Изд-во МГУ, 1999.

2. *Владов М.Л.* Обзор геофизических методов исследований при решении инженерно-геологических и инженерных задач / М.Л.Владов, А.В.Старовойтов. М.: GDS Production, 1998.

3. *Ефимова Н.Н.* Применение георадиолокации при решении задач инженерной геофизики: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Санкт-Петербург. горный ин-т. СПб, 1999.

4. *Davis.* Quantitative Measurement of Pavement Structures Using Radar / Davis, J.Les, Rossiter, R.James, Mesher, E.Darel and Dawley, Cece B. // Fifth International Conference on Ground Radar. Canada, Kitchener, 1994.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *В.В.Глазунов*

УДК 549.1+550.42

А.А.САВИЧЕВ, С.П.НАГАЕВА

Геолого-разведочный факультет, магистранты группы МГПм-95, ассистенты профессора

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СТАДИЙНОСТЬ Au-Sb-W-МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРХНЕ-ЕНАШИМИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, СИБИРЬ)

Олимпиада, Оленье и другие золото-сульфидные месторождения локализованы в терригенно-карбонатных породах. Основные рудные минералы – арсенопирит, пирротин, антимонит, шеелит; редкие – вольфрамит, пирит, бертьерит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, джемсонит, гудмундит, колорадоит, цумоит, ауростибит, самородные золото и сурьма. Золото в рудах присутствует в трех различных формах: самородное (пробность 910-997) в ассоциации с шеелитом, пирротином и арсенопиритом; химически связанное в структуре арсенопирита (до 0,6 % по массе); ауростибит $AuSb_2$, сосуществующий с антимонитом и Sb-сульфосолями. Рудные элементы представлены ассоциацией (Au-As)±(Sb-Pb-Ag) на Олимпиаде и (Au-Ag-W)±Sb на Оленьем, их различия обусловлены вариациями минерального состава руд: ранние золото-арсенопиритовые и поздние серебросодержащие сульфоантимонитовые с ауростибитом (Олимпиада); ранние золото-шеелит-пирротиновые и поздние ауростибит-антимонитовые (Оленье). Au-Sb-W-минерализация сформировалась в ранний редкометальный (кварц-вольфрамитовая, кварц-шеелит-сульфидная ассоциации) и более поздний золоторудный (золото-шеелит-пирротиновая, золото-арсенопиритовая, полиметаллическая, золото-бертьерит-антимонитовая, карбонат-флюорит-пиритовая ассоциации) этапы.

The Olympiada, Olenye and other gold-sulphide deposits are located in terrigenous-carbonate rocks. The ore minerals include arsenopyrite, pyrrhotite, stibnite, scheelite as major constituents and wolframite, pyrite, berthierite, sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite, jamesonite, gudmundite, coloradoite, tsumoite, aurostibite, native antimony and gold as minor constituents. Gold is represented in three different forms: native gold (910-997 standard) associated with scheelite, pyrrhotite and arsenopyrite; chemically bound gold in arsenopyrite (up to 0,6 wt %); aurostibite $AuSb_2$, coexisting with stibnite and Sb-sulfosalts. Ore element associations include (Au-As)±(Sb-Pb-Ag) in the Olympiada and (Au-Ag-W)±Sb in the Olenye deposits. The differences in these element associations are the result of variations in mineral composition of the ores (early gold-bearing arsenopyrite and late silver-bearing sulfosalts-aurostibite-stibnite associations in the Olympiada and early gold-scheelite-pyrrhotite and late aurostibite-stibnite associations in the Olenye deposits). Au-Sb-W mineralization of Verkhne-Enashiminski ore area formatted in the early rare metal stage (quartz-wolframite, quartz-scheelite-sulphide associations) and later gold ore stage (gold-scheelite-pyrrhotite, gold-arsenopyrite, polymetallic, gold-berthierite-stibnite and carbonate-fluorite-pyrite associations).

Верхне-Енашиминский рудный узел расположен в зоне сочленения Центрального и Панимбинского антиклинориев рифейской миогеосинклинальной структурно-формационной зоны Енисейского кряжа. В состав узла входят комплексные Au-Sb-W-месторождения Олимпиада, Оленье, Тырадинское и др., а также вольфрамовое рудопроявление Высокое. Золотоносные образования локализованы в терригенно-карбонатных породах нижнего-среднего рифея и представлены сульфидизированными метасоматитами березитового типа и продуктами их близповерхностного изменения.

Олимпиада является одним из крупнейших объектов в России по запасам золота. На месторождении выделяется два природных и технологических типа руд: первичные и окисленные. Первичные руды относятся к золотосульфидным и представлены слюдисто-кварц-карбонатными и углеродсодержащими кварц-слюдистыми метасоматитами с редкой сульфидной минерализацией. Главными рудными минералами являются пирротин, арсенопирит, антимонит, бертьерит, реже встречаются пирит и шеелит. В качестве примесей присутствуют вольфрамит, галенит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит, джемсонит, гудмундит, ульманит, киноварь, теллуриды висмута и ртути, ауростибит, самородные золото и сурьма. Окисленные руды имеют глинисто-алевритовый состав. Золото в них ассоциирует с оксидами и гидроксидами железа, марганца, сурьмы (сервантит, валентинит, биндгеймит, гидроромеит, стибиоконит, трипургит) и более редкими скородитом, церусситом, англезитом, глетом, тунгститом.

Месторождение Оленье расположено в экзоконтакте крупной гранитной интрузии и в силу этого несколько отличается от Олимпиады по минеральному составу. Метасоматиты имеют существенно кварцевый состав, с незначительным количеством турмалина, цоизита, биотита, амфиболов и карбоната. Среди рудных минералов преобладают пирротин и шеелит, реже отмечены арсенопирит, пирит; примеси – антимонит, вольфрамит, халькопирит, ауростибит, золото и сурьма.

Рудопроявление вольфрама Высокое локализовано в грейзенизированных лейкогранитах татарско-аяхтинского комплекса и представлено калишпат-мусковит-кварцевыми метасоматитами с вольфрамит-кварцевыми и шеелит-сульфидными жилами. Среди рудных минералов преобладает вольфрамит, реже присутствуют шеелит, арсенопирит, пирит. В единичных знаках отмечены касситерит, висмутин, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, антимонит, киноварь, золото.

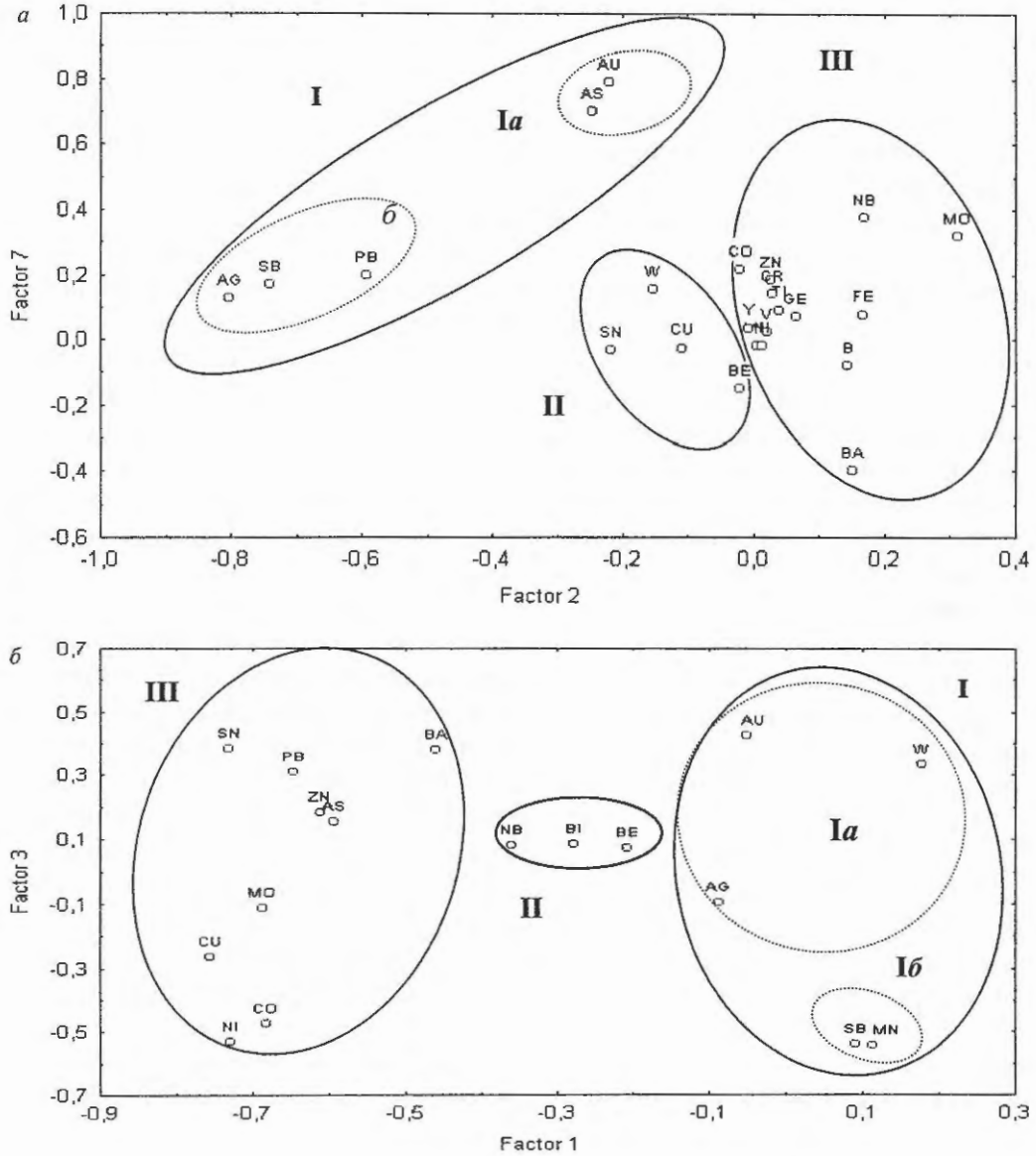
Задачами настоящего исследования явилось минералого-геохимическое изучение Au-Sb-W-минерализации месторождений с целью уточнения элементного и минерального состава руд, установления форм нахождения в них золота и выяснения последовательности и условий минералообразования.

Методами пробирного и полуколичественного спектрального анализов определены содержания золота и других элементов-примесей во вмещающих породах и рудах месторождений (табл.1).

Таблица 1

Средние содержания некоторых элементов-примесей в рудах, г/т

Месторождение	Тип руд	Количество проб	Pb	Cu	Zn	W	As	Sb	Hg	Ag	Au
Олимпиада	Окисленные	252	261	76	139	677	681	2278	44	0,3	9,9
	Первичные	71	23	43	81	58	713	903	<10	0,1	3,2
Оленье	Первичные	63	19	48	84	498	2202	97	<10	0,2	8,4



Диаграммы факторных нагрузок на элементы-примеси первичных руд месторождений Олимпиада (*а*) и Оленье (*б*)

I – элементы, связанные с золотым оруденением (I*а* – тесно, I*б* – слабо); II – элементы, связанные с редкометальным оруденением; III – элементы, концентрирующиеся во вмещающих породах

Характер распределения компонентов изучен с помощью факторного анализа методом главных компонент и последующего полиэлементного картирования опробованных площадей.

Элементный состав первичных руд месторождений Олимпиада и Оленье имеет схожий характер. В обоих случаях четко обособляются ассоциации элементов, характерных для рудоносных метасоматитов и вмещающих пород. В контурах рудных тел происходит слабое накопление элементов, связанных с незначительно проявленным редкометальным оруденением, и резкое – ассоциирующих с золотом (см. рисунок).

Вариации в составе последних обуславливаются различиями минерального состава руд месторождений. На Олимпиаде золото имеет тесную связь с мышьяком и слабую с сурьмой, свинцом и серебром (см. рисунок, 1*а*), что подтверждается постоянным присутствием в рудах золотосодержащего арсенопирита. Ассоциация Sb-Pb-Ag±Au характерна для переменно-продуктивных сурьмянистых руд, где самородное золото и аурostибит присутствуют совместно с антимонитом, бертьеритом и сурьмянистыми сульфосолями свинца. Au-W-геохимическая ассоциация месторождения Оленье характеризуется наличием в рудах золото-шеелит-пирротинового парагенезиса (см. рисунок, 1*б*). Sb±(Au-Ag)-ассоциация незначительно проявлена в существенно карбонатных метасоматитах с повышенным содержанием марганца, где аурostибит сосуществует с антимонитом. Отсутствие Au-As-корреляции может свидетельствовать о том, что золото не входит в структуру арсенопирита на Оленьем. Серебросодержащие сульфосоли, характерные для Олимпиады, на Оленьем не обнаружены (отсутствие Ag-Sb-Pb-корреляции).

Взаимосвязь элементного состава руд с особенностями взаимоотношений минералов, изученных с помощью оптической и растровой электронной микроскопии, позволяет наметить схему последовательности образования постмагматической минерализации Верхне-Енашиминского рудного узла (табл.2).

Наиболее ранняя кварц-вольфрамитовая минеральная ассоциация наблюдается в грейзенизированных гранитах проявления Высокое. Призматические кристаллы вольфрамита, содержащие 24-37 % $MnWO_4$, присутствуют как в кварцевых прожилках, так и непосредственно в метасоматитах. Вольфрамит замещается шеелитом 1 – минералом следующей кварц-шеелит-арсенопиритовой ассоциации. Помимо псевдоморфоз по вольфрамиту шеелит отмечается и в виде самостоятельных выделений в срастаниях с арсенопиритом и пиритом. Арсенопирит 1 наблюдается в кварцевых жилах Высокого и Оленьего, образует гнездообразные агрегаты мелких (0,1-0,5 мм) коротко-призматических кристаллов и не содержит золота.

Формирование промышленного золотого оруденения золото-сульфидной стадии начинается с образования золото-шеелит-пирротиновой ассоциации, наиболее сильно проявленной в метасоматических кварцитах Оленьего. Золото 2 находится в свободной форме, часто в сростках с пирротином 2, имеет пробность 910-997. На месторождении Олимпиада ассоциация ограниченно распространена в рядовых и бедных рудах.

Основная продуктивная золото-арсенопиритовая ассоциация имеет площадное распространение на Олимпиаде и спорадически отмечается на Оленьем. Арсенопирит 2 присутствует в виде хорошо образованных длиннопризматических и игольчатых кристаллов и часто замещает пирротин 2, образуя каемки на кристаллах последнего. Золото химически связано в структуре арсенопирита (до 0,6 % по массе).

Полиметаллическая пользуется незначительным распространением. Главным минералом является пирротин 3, который часто содержит эмульсионные выделения халькопирита 2 и окаймляет кристаллы арсенопирита 2.

Золото-бертьерит-антимонитовая ассоциация пространственно приурочена к зонам разломов и часто образует рудные столбы. Также в ее состав входят более редкие джемсонит, гудмундит, ульманит, халькостибит, аурostибит, самородные золото 3 и

Таблица 2

Схема последовательности образования эндогенной постмагматической минерализации Верхне-Енашиминского рудного узла

Этап	Редкометальный		Золоторудный				
Стадия	Дорудного кварца		Золото-сульфидная			Золото-сульфоантимонитовая	Пострудных изменений
Минеральная ассоциация	Кварц-вольфрамитовая	Кварц-шеелит-сульфидная	Золото-шеелит-пирротиновая	Золото-арсенопиритовая	Полиметаллическая	Золото-бертьерит-антимонитовая	Карбонат-флюорит-пиритовая
Рудные минералы (*курсивом выделены редкие минералы*)	Вольфрамит, *молибденит, касситерит*	Арсенопирит 1, шеелит 1, пирит 1, *висмутин , пирротин 1, галенит 1, сфалерит 1, халькопирит 1, золото 1*	Шеелит 2, пирротин 2, золото 2	Арсенопирит 2 (золотосодержащий)	Пирротин 3, халькопирит 2, сфалерит 2, пирит 2, *тетраэдрит 1, галенит 2, цумоит, колородаит*	Антимонит 1, бертьерит, *гудмундит, джемсонит, ульманит, халькостибит, аурostибит, самородная сурьма, золото 3*	Пирит 3, *пирротин 4, киноварь, антимонит 2*
Степень золотоносности	Не золотоносна	Слабо золотоносна	Золотоносна	Главная золотоносная ассоциация	Слабо золотоносна	Переменно-золотоносная ассоциация	Не золотоносна
Высокое (W)	■						
Оленье (Au, W)			■	?			
Олимпиада (Au, Sb,W)				■			

Условные обозначения:

Ассоциации: ■ преобладающая, ■■■■ второстепенная, ——— редкая

сурьма. Эти минералы являются наиболее поздними и часто корродируют ранее образованные пирротин и арсенопирит. Пробность золота 3 низкая (647-757), в качестве примесей присутствуют серебро (15-22%) и ртуть (9-13%).

Образование постмагматической минерализации завершается в пострудную стадию выделением карбонат-флюорит-пиритовой ассоциации. Низкотемпературная минерализация, включающая киноварь и переотложенный игольчатый антимонит 2, присутствует в карбонатных прожилках, секущих золотоносные метасоматиты.

Временно-пространственные взаимоотношения между различными минеральными ассоциациями определяют характер общей зональности метасоматических образований Верхне-Енашиминского рудного узла. Ранняя редкометальная минерализация с ярко выраженной вольфрамовой специализацией, генетически связанная с гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса, преимущественно проявлена в апогранитовых метасоматитах грейзенового типа. Смена кварц-вольфрамитового парагенезиса кварц-шеелит-сульфидным происходит при повышении активности серы в минералообразующих растворах и наблюдается как в грейзенах, так и в апосланцевых метасоматитах месторождения Оленье, локализованного в экзоконтакте вышеуказанной гранитоидной интрузией. Золотое и золото-сурьмяное оруденение, образовавшееся в

следующий этап, пользуется наибольшим распространением в березитовых метасоматитах месторождения Олимпиада, расположенного на удалении от гранитоидов.

Формирование золоторудной минерализации, вероятно, связано с термальным метаморфизмом (в результате становления крупных гранитоидных интрузий) терригенных толщ сухопитской серии, которые, согласно Л.В.Ли, обладают повышенной золотоносностью. Мобилизированное из метаосадочных пород золото отлагалось в самородном виде в ассоциации с пирротином. Позднее в результате воздействия активных мышьяковистых растворов пирротин замещался арсенопиритом. Возможно, что при этом часть ранее выделившегося золота переходила в раствор, а затем связывалась в структуре арсенопирита. Образование поздней низкотемпературной золото-сурьмяной минерализации происходило при поступлении новой волны минералообразующих растворов с выделением ртутистого золота и аурострибита как реакционных минералов, замещающих арсенопирит или отлагающихся по трещинам в нем. Золото могло быть привнесено гидротермами и (или) высвобождалось под их действием из ранее образованных минералов.

Научный руководитель профессор, д.г-м.н. *В.В.Гавриленко*