

25. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Геологическая позиция благороднометалльных месторождений интрузивно-вулканогенного обрамления Гонжинского выступа докембрия (Верхнее Приамурье) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 3. С. 53—65.
26. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Структурно-геофизическая позиция крупных золоторудных районов Аргунского (Забайкалье, Верхнее Приамурье) и Центрально-Алданского (Якутия) супертеррейнов // Международный горно-геологический форум «Золото Северного обрамления Пацифика», Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 159—162.
27. Хомич В.Г., Петрищевский А.М. Протомагматические очаги золотоносных систем Приамурья // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 25—38.
28. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. Внутриплитная позднемезозойско-кайнозойская вулканическая провинция Центральной - Восточной Азии проекция горячего поля мантии // Геотектоника. 1995. № 5. С. 41—67.
29. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г., Журавлев Д.З. Ангаро-Витимский батолит: к проблеме геодинамики батолитообразования в Центрально-Азиатском складчатом поясе // Геотектоника, 1997. № 5. С. 18—32.

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
(690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159;
e-mail: khomch79@mail.ru; boriskina2000@mail.ru)
Рецензент — Г.Н. Пилипенко

УДК 550.83

Д.В. ЮСУПОВ

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ ЗОЛОТА И РТУТИ ПОКРОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВЕРХНЕЕ ПРИАМУРЬЕ)

Приведены результаты применения биогеохимического метода поисков в условиях закрытых ландшафтов Верхнего Приамурья. Изучены особенности формирования биогеохимических ореолов, включая закономерности биогенного распределения и формы содержания золота, ртути, других элементов в биообъектах на Покровском золоторудном месторождении. Установлены количественно-информативные растения-биоиндикаторы, обладающие высокой концентрирующей способностью по отношению к золоту и ртути.

К л ю ч е в ы е с л о в а: золотосеребряная формация; биогеохимический метод; биогеохимический индикатор; вторичный ореол рассеяния; золото; ртуть.

Биогеохимический метод поисков основан на выявлении биогенных ореолов элементов-индикаторов полезных ископаемых в растениях и их остатках. Он доказал свою эффективность в определенных ландшафтных условиях и применяется как прямой глубинный геохимический метод на закрытых площадях на разных стадиях поисково-разведочных работ для решения геологических задач [3, 11]. Целесообразность включения биогеохимического метода в комплекс поисково-разведочных работ, наряду с другими геохимическими методами, определяется растущей потребностью в минеральном сырье и значительным исчерпанием фонда «легкооткрываемых» месторождений полезных ископаемых в известных рудных регионах.

На территории Верхнего Приамурья расположена Приамурская золоторудная провинция [14]. За последние 25 лет месторождения рудного золота выявлялись в её пределах достаточно редко, что связано с особенностями геоморфологического строения территории провинции, перекрытой на большей части чехлом рыхлых отложений различной мощности. На полузакрытых и закрытых территориях, где литохимические ореолы и потоки рассеяния проявлены слабо, преобладают биогео-

химические ореолы рассеяния. Для обоснования поисковых возможностей биогеохимического метода в пределах Приамурской золоторудной провинции нами изучены особенности формирования биогеохимических ореолов, включая закономерности биогенной миграции и формы нахождения золота, серебра, ртути на эталонном объекте — Покровском золоторудном месторождении.

Покровское месторождение

Покровское золоторудное месторождение открыто В.Д. Мельниковым в 1974—1975 гг. [2]. Оно относится к вулканогенной золотосеребряной формации и приурочено к Умлекано-Огоджинскому вулканоплутоническому поясу, расположенному на северной окраине Буреинского срединного массива. Месторождение приурочено к юго-западному флангу Приамурской золотоносной провинции. По количеству запасов рудного золота Покровское месторождение оценивается как среднее, находится в эксплуатации с 1999 г. и обеспечивает около 55% золота в структуре золотодобычи Амурской области [8].

Территории месторождения присущ таёжный ландшафт с холмисто-увальным рельефом, абсолютными отметками вершин 350—380 м и относительными превышениями водоразделов над тальвегами 20—60 м. Рельеф месторождения характеризуется хорошо выработанными, заболоченными долинами с пологими (до 5°) склонами, переходящими в плоские (до 1 км) водоразделы. Развита собственно буротаежные почвы. По долинам рек и ручьёв, в нижних частях склонов, в значительной степени развиты кочковатые мари с торфяно-глеевыми и болотными торфяными почвами с мощным торфянистым горизонтом. Значительная часть площади покрыта редкостойным лесом из лиственницы даурской (*Larix dahurica*), березы плосколистной (*Betula platyphlla*), сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) с обильно развитым густым подлеском из рододендрона даурского (*Rhododendron dahurica*) и багульника болотного (*Ledum palustre*). Типична островная многолетняя мерзлота, развитая преимущественно в бортах и днищах долин и на склонах северной экспозиции. Сезонная мерзлота встречается повсеместно и распространена на глубину до 3,5 м. Коренные обнажения отсутствуют.

Современные рыхлые образования представлены делювиально-элювиальными отложениями мощностью от 1,4 (на водоразделах) до 8,0 м (в долинах). В районе Покровского месторождения развиты площадные коры выветривания каолинит-гидрослюдистого, гидрослюдисто-каолинитового и каолинитового профилей. Мощность площадных кор выветривания колеблется от нескольких до 60 м.

Покровское месторождение образцово системной субпараллельных пологозалегающих рудных тел — кварцевых жил и штокверков в гранитах Сергеевского массива и частично в перекрывающих их вулканитах. Последние представлены породами дацитового состава: лавами, брекчиевыми лавами, лавобрекчиями и туфами. Они интенсивно аргиллизированы, неравномерно окварцованы, пиритизированы, подвергнуты адуляризации.

Тектоническую структуру участка работ определяет надвиг вулканитов раннего мела на юрские терригенные отложения (алевролиты и аргиллиты) аякской свиты, прорванные меловыми дайками гранит-порфиоров (рис. 1, в). Мощность даек до 30 м, падение юго-западное под углом 55°, протяженность до 660 м.

Вдоль контакта терригенных пород с вулканитами расположены рудные зоны. Они сопровождаются контрастными первичными и вторичными ореолами рассеяния золота и серебра. Продуктивные части первичных ореолов содержат 1,0 г/т золота и 2,5 г/т серебра. Слабо эродированные и не выходящие на поверхность рудные зоны сопровождаются ореолами золотосеребромышьяк-сурьмяной (с вольфрамом) и медно-серебряно-полиметаллической специализаций.

Основной тип руд — золотоадуляр-кварцевый, убогосульфидный. Руды представлены окварцованными, аргиллизированными и выветрелыми вулканитами с неравномерной прожилково-вкрапленной золотосеребряной минерализацией. Содержа-

ние золота по отдельным пробам достигает 20,3 г/т на мощность 1,0 м (канавы 2) и 32,8 г/т на мощность 2,2 м.

Основными вмещающими минералами являются кварц, адуляр, карбонаты, гидрослюда и каолинит. Количество рудных минералов составляет в среднем 1%. Они представлены пиритом, арсенипиритом, марказитом, сфалеритом, галенитом, антимонитом, гидроксидами железа и самородным золотом. Золото тонкое, низкопробное (626—735 ‰). Среди элементов-примесей, помимо серебра, отмечены железо, сурьма, марганец, хром и медь [14].

Методика работы

Биогеохимические пробы отобраны по профилю вдоль линии канав 1—2 и скважин, которыми в коренных породах была вскрыта золоторудная минерализация. В качестве биообъектов в каждой точке отбирались кора лиственницы даурской и берёзы плосколистной, ветви с листьями рододендрона даурского и его сухой. Выбор биообъектов для опробования определялся видовым составом древесного яруса и подлеска. Озольнение проб производилось в лабораторных условиях в муфельных печах при 500 °С (до состояния белой золы). Зольность коры лиственницы составила 1,7—2,2%, коры берёзы — 0,6%, сухих веток рододендрона — 1,5%. Литохимические пробы отобраны с глубины 30—40 см почвенного горизонта. Содержания золота, серебра, микроэлементов в пробах золы, почвы определены атомно-абсорбционным методом. Ртуть анализировалась беспламенным атомно-абсорбционным методом на газортутном анализаторе АГП-01. Всего отобрано и проанализировано 126 биогеохимических и 33 литохимических пробы. По базе данных (выборкам) содержаний химических элементов в золе растений, почвах с помощью программы Excel выполнен расчёт, произведена оценка статистических параметров распределения элементов: минимального (x_{\min}), максимального (x_{\max}), среднего арифметического логарифмов содержаний ($x_{\text{сред}}$), стандартного отклонения логарифмов содержаний (S), асимметрии (A), эксцесса (\mathcal{E}), коэффициента вариации (v), а также значений растительно-почвенного коэффициента (РПК) и кларка концентрации для литохимических ($KK_{\text{л}}$) и биогеохимических проб ($KK_{\text{б}}$). Кларки концентрации рассчитаны как отношение среднего арифметического логарифмов содержания элемента в выборке проб к его кларку в соответствующей среде (почве, растениях), по данным [4]. Установлен логнормальный закон распределения содержания золота и других элементов в выборках (табл. 1).

Результаты работы

Кларки концентрации $KK_{\text{б}}$ золота и ртути в биогеохимических пробах превышают соответствующий показатель $KK_{\text{л}}$ литохимических ореолов в несколько десятков раз. Величина отношения ($KK_{\text{б}} : KK_{\text{л}}$) > 10 служит показателем перспективности выявления золоторудной минерализации

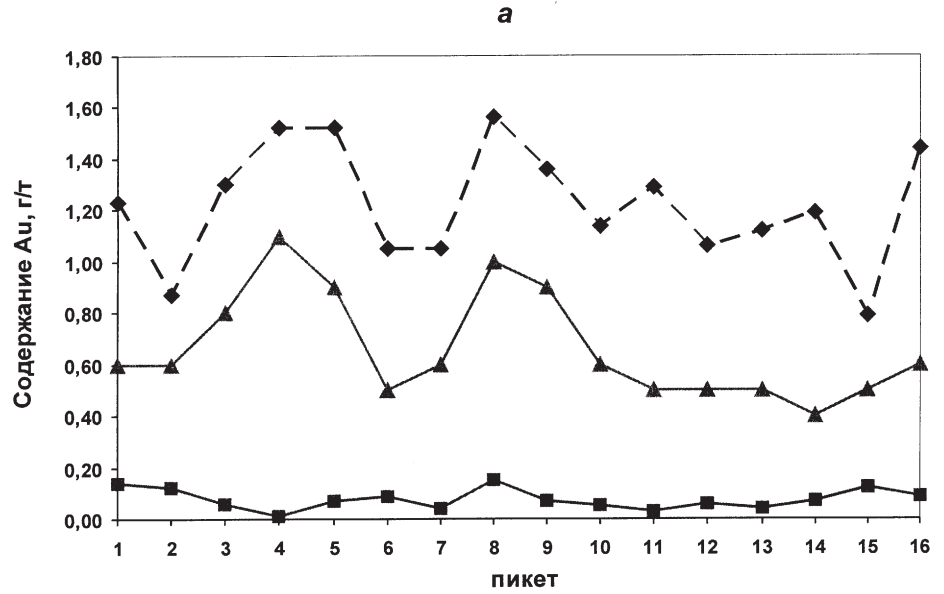
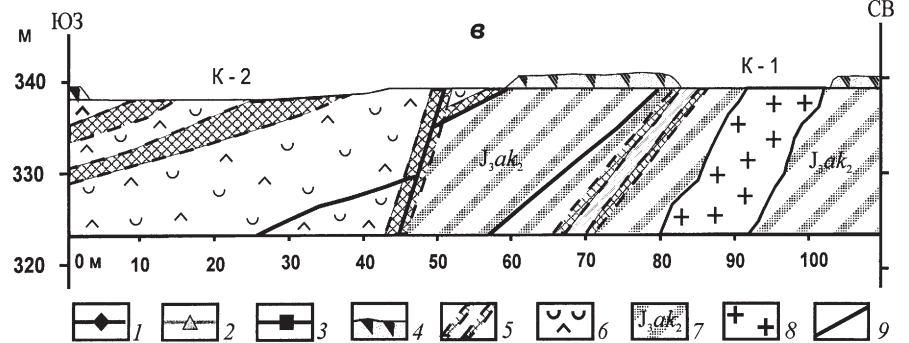
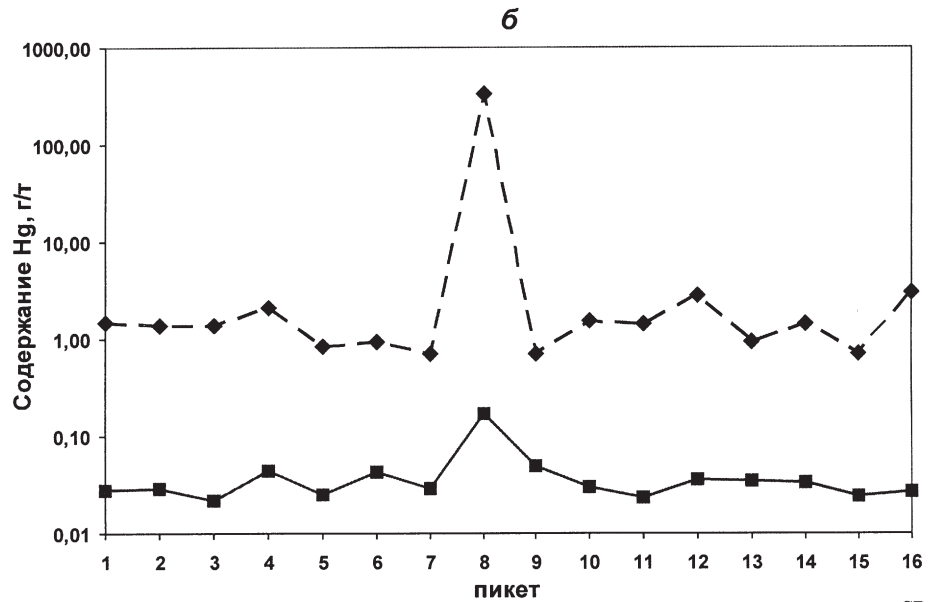


Рис. 1. Распределение содержаний золота (а), ртути (б) в растениях, почве, коренных породах по геологическому профилю (в): 1 — рододендрон даурский (ветви с листьями); 2 — коренная порода; 3 — почвенный горизонт «В»; 4 — почвенно-растительный слой, элювиальные отложения; 5 — рудные зоны с прожилково-сетчатым окварцеванием; 6 — туфы дацитов; 7 — алевролиты, аргиллиты аякской свиты (J_{3ak2}); 8 — гранит-порфиры; 9 — разрывные нарушения



биогеохимическим методом. РПК биообъектов составил для Au, Hg, Zn 10^n , где n (1—9), что соответствует группе элементов сильного биологического накопления, для Ag — $0,1$ — слабого накопления.

Золото. Литохимические вторичные ореолы золота значительно ослаблены вследствие интенсивного промыва атмосферными осадками илювиаль-

ного горизонта почвы. Уровень содержаний золота в литохимических пробах на два порядка ниже, чем в соответствующих биогеохимических пробах (рис. 1, а). Кора стволов лиственницы даурской (РПК 17), берёзы плосколистной (РПК 26), 3—10-летние ветви рододендрона даурского (РПК 36) являются безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к высоким концентраци-

Распределение химических элементов в почве и золе растений Покровского золоторудного месторождения

Элемент	Образец	N	Содержание, г/т			Статистические параметры				РПК	КК _{л.} , б
			x_{\min}	x_{\max}	$x_{\text{сред}}$	S	A	Э	v, %		
Au	п (В)	27	0,005	0,18	0,07 ± 0,02	0,04	0,70	0,035	64	—	1,2
	рд	27	0,79	1,85	1,36 ± 0,11	0,30	0,11	-1,75	20	19,4	79,0
	рдс	10	1,71	3,98	2,52 ± 0,39	0,61	1,43	3,66	24	36,0	171,0
	бп	9	0,96	3,27	1,84 ± 0,52	0,78	0,66	-0,30	43	26,3	96,0
	лд	15	0,50	4,03	1,69 ± 0,61	1,18	1,22	0,06	70	16,9	50,0
Ag	п (В)	26	0,250	50,70	1,20 ± 0,20	0,51	1,77	3,25	27	—	13,3
	рд	27	0,25	1,12	0,66 ± 0,12	0,30	0,11	-1,75	46	0,6	4,2
	лд	5	0,26	0,52	0,39 ± 0,11	0,12	-0,16	-2,81	30	0,3	4,3
Hg	п (В)	26	0,018	0,049	0,03 ± 0,003	0,01	0,84	-0,1	30	—	0,65
	рд	24	0,80	4,0	2,27 ± 0,47	1,48	2,24	3,72	51	75,7	37,8
	рдс	10	0,63	1,88	1,10 ± 0,27	0,42	0,57	-0,55	38	36,7	18,3
	лд	5	1,11	2,22	1,78 ± 0,54	0,61	-0,61	-3,33	34	59,3	29,7
Pb	п (В)	27	26,0	64,0	47,78 ± 2,87	7,45	-0,59	2,09	16	—	3,0
	рд	27	50,0	120,0	82,22 ± 5,59	14,51	-0,13	1,53	18	0,6	8,2
	рдс	11	74,0	120,0	103,82 ± 7,19	11,91	-1,55	3,73	12	2,2	10,4
Cu	п (В)	26	12,0	26,0	16,77 ± 2,64	6,85	-0,45	0,61	24	—	0,4
	рд	27	56,0	220,0	165,56 ± 12,66	32,89	-1,55	4,38	20	9,9	0,8
	рдс	11	130,0	160,0	142,73 ± 4,74	7,86	0,94	1,65	6	8,5	0,7
Zn	п (В)	27	10,0	78,0	41,48 ± 6,81	17,69	0,28	-0,26	43	—	0,5
	рд	25	410,0	1200,0	687,67 ± 93,0	177,32	0,95	1,66	26	16,6	0,8
	рдс	11	540,0	1140,0	742,73 ± 105,0	174,07	1,18	1,56	23	17,9	0,8
Cr	п (В)	27	40,0	84,0	60,74 ± 4,48	11,64	0,24	-0,42	19	—	55,2
	рд	27	30,0	70,0	55,56 ± 2,93	7,61	-1,04	4,06	14	0,9	0,2
	рдс	11	60,0	96,0	79,46 ± 5,42	8,99	-0,49	2,11	11	1,3	0,3

Примечание. п (В) — почва (горизонт «В»); рд — рододендрон даурский (живые ветви с листьями); рдс — рододендрон даурский (сухой); лд — кора лиственницы даурской; бп — кора берёзы плосколистной; N — число проб; прочерк — нет данных.

ям золота, что подтверждается данными других исследователей [10]. Установлено различие в уровне концентрации золота в пробах золы сухой рододендрона и в пробах золы живых ветвей с листьями рододендрона (рис. 2, а). Объяснение этого факта заключается в существовании различных форм золота. Золото в живых частях растения, очевидно, находится в водорастворимой ионной форме и его количество значительно изменяется в разные сезоны года, периоды вегетации. Золото в сухих ветвях растения содержится в минеральной форме. По данным [5], наибольшее количество кристаллов золота размером менее 1 мкм в древесных и кустарниковых растениях находятся в лубе и концах ветвей диаметром 3–8 мм, где золото накапливаются по безбарьерному типу. Следовательно, предпочтительнее опробовать сухие ветви рододендрона.

Корреляционный анализ базы данных выявил отрицательную геохимическую связь между аномальными содержаниями золота в пробах растительности и в почве (табл. 2.). Отсутствие статистически значимой корреляции между аномальными концентрациями металлов в биогеохимических и литохимических пробах является, согласно А.П. Соловову [13], основным критерием эффективности применения биогеохимического метода в условиях закрытого и полужакрытого ландшафтов. С другой стороны, для того, чтобы содержание микроэлементов в растениях могло служить индикатором оруденения, должна существовать хорошо

выраженная корреляционная зависимость между распределением химических элементов в растениях и коренной породе [1]. На участке работ выявлена положительная значимая корреляция в распределении золота между биогеохимическими и бороздовыми пробами (табл. 2.). Это даёт возможность использовать биогеохимический метод не только для выявления золоторудных и золотосодержащих рудных тел и зон, выходящих на поверхность, но и производить прогнозную оценку золотонности на глубине в корнеобитаемой зоне изучаемых растений.

Ртуть. Выявлены локальные контрастные биогеохимические аномалии ртути, которые простран-

Таблица 2

Корреляционная зависимость содержания золота в золе растений, почве и коренных породах

Биогеохимическая проба	N	Коэффициент корреляции ($r_{5\%}$)	
		почва (горизонт «В»)	коренная порода
Рододендрон даурский (живые ветви)	27	-0,11	+0,23
Рододендрон даурский (сухой)	11	-0,14	+0,45
Лиственница даурская (кора)	15	-0,07	+0,46
Берёза плосколистная (кора)	9	-0,12	+0,73

Примечание. N — число проб в выборке, $r_{5\%}$ — 5-процентный уровень значимости корреляционной связи.

а

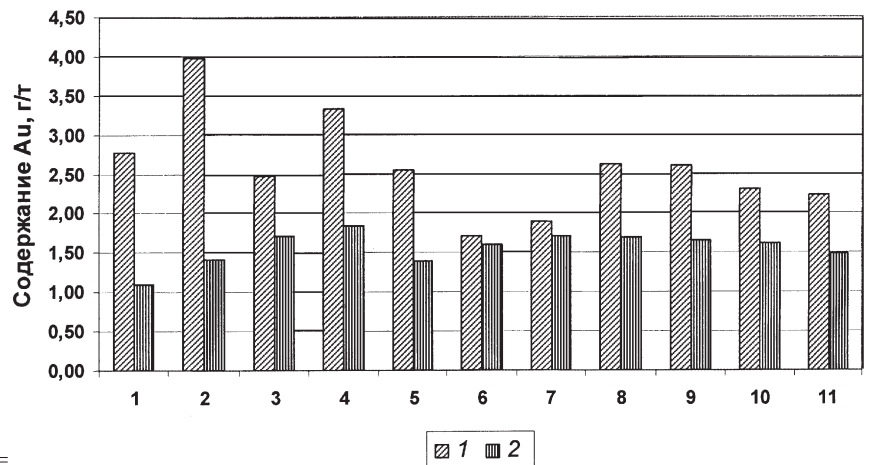
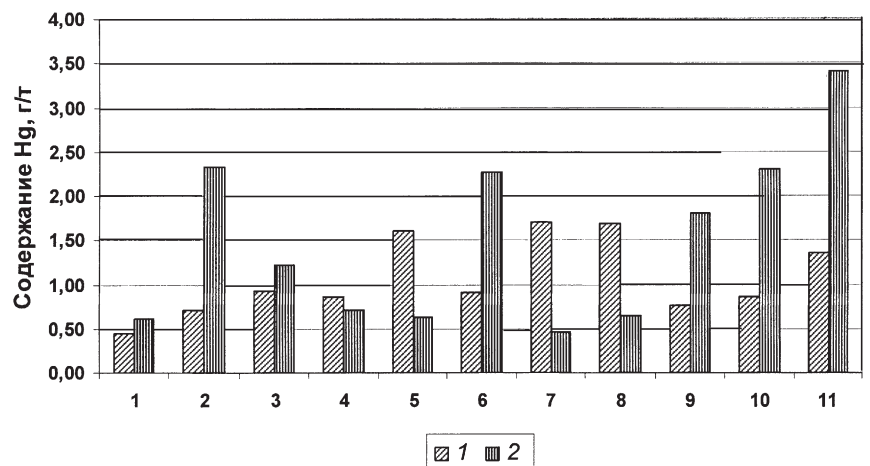


Рис. 2. Диаграмма соотношения концентраций золота (а) и ртути (б) в золе различных биообъектов опробования: 1 — сухой рододендрона даурского (n 11); 2 — живые ветви рододендрона даурского (n 27)

б



ственно совпадают с пиковыми литохимическими аномалиями золота и ртути в коренной породе и значительно менее контрастными в почве (рис. 1, б). Пики биогеохимических аномалий ртути наблюдаются над зонами рудной минерализации на границе вулканогенных и терригенных пород (рис. 1, в). Важной закономерностью для биогеохимических поисков является особенность распределения ртути в различных биообъектах опробования. Наибольший уровень концентрации ртути ($x_{\text{сред}} 2,27$; $x_{\text{max}} 4,0$ г/т) наблюдается в живых зелёных ветвях рододендрона, меньший ($x_{\text{сред}} 1,1$; $x_{\text{max}} 1,71$ г/т) — в сухих ветвях (рис. 2, б). РПК для ртути показал максимальные величины (37—76). Данный порядок значений РПК определяется существованием в почве, горных породах и рудах парообразной (газообразной) формы ртути, которая интенсивно поглощается растениями [6]. Согласно Н.А. Озеровой [2], минералами-концентраторами ртути служат сфалерит (до 35% Hg), блеклые руды (до 20% Hg), антимонит и др. Ртуть входит изоморфно в решетку галенита, пирита (до 2% Hg) [9]. Таким образом,

ртуть, наряду с золотом, является важным элементом-индикатором выявления золоторудной минерализации биогеохимическим методом.

Серебро. Концентрация серебра в почвах (0,25—98,7 г/т, $x_{\text{сред}} 2,86$ г/т) в два раза превышает его содержание в биогеохимических пробах, что вызвано, во-первых, слабой мобилизацией подвижных ионных комплексов серебра в слабнокислой (pH 5,6—6,2) среде собственно буротаежных почв с низким содержанием фульвокислот [4]; во-вторых, наличием антиконцентрационного физиологического барьера на поглощение серебра у живого растения. В качестве основного биообъекта был опробован рододендрон (живые ветви с листьями), в котором содержание серебра колеблется от 0,25 до 1,12 г/т, (РПК 0,2). Сухостой рододендрона даурского был проанализирован в небольшом количестве проб (пикеты 4, 6, 7; канава 3). Анализ показал аномальные концентрации серебра 3,32; 7,17; 3,24 г/т соответственно. Объяснение аномальных концентраций серебра в сухих ветках рододендрона в том, что Ag, по-видимому, образует в

отмерших частях минеральные формы (биолиты серебра), аналогичные золоту [7].

Заключение

Проведённое исследование показало, что золотосеребряное оруденение Покровского месторождения хорошо выявляется биогеохимическим методом поисков. Оруденение сопровождается контрастными биогеохимическими ореолами рассеяния золота, ртути и литохимическими вторичными ореолами рассеяния серебра, которые отражают местоположение рудного источника на глубине 1—7 м. Источником биогеохимических ореолов служат первичный ореол окварцованных и выветрелых вулканических пород с прожилково-вкрапленной золотосеребряной минерализацией.

Биогеохимическими индикаторами золотосеребряного оруденения служат рододендрон даур-

ский, кора лиственницы даурской и берёзы плосколистной. Для рододендрона характерно большее накопление золота в сухих частях растения по безбарьерному типу (количественно-информативный биогеохимический индикатор) и практически безбарьерное в живых ветвях растения (приблизительно-количественный биогеохимический индикатор). Обратная закономерность выявлена в отношении распределения ртути: повышенные содержания наблюдаются в живых ветвях рододендрона и средние — в сухих частях этого кустарника.

Полученные результаты углубляют представления о процессах формирования биогеохимических ореолов рассеяния и формах нахождения в них химических элементов на территории Верхнего Приамурья и будут способствовать практическому применению эффективных методов геохимических поисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 280 с.
2. Васильев И.А. К истории открытия Покровского золоторудного месторождения // Геологические исследования в Амурской области. Благовещенск: КПР Амурской обл., 2000. С. 25—27.
3. Загоскин В.А. Высокоэффективные технологии геохимических поисков руд и россыпей в таёжных и субарктических ландшафтах. М.: Пробел, 2003. 517 с.
4. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. М.: Экология, 1997. Кн. 5: Редкие d-элементы. 576 с.
5. Ковалевский А.Л., Прокопчук С.И. О минеральных формах золота в растениях // Докл. АН СССР. 1978. Т. 242. № 2. С. 430—433.
6. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1984. 172 с.
7. Ковалевский А.Л., Огурцов А.М., Прокопчук С.И., Суранова Н.А. О минеральных формах серебра в растениях // Докл. РАН. 1992. Т. 327. № 2. С. 253—255.
8. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. Благовещенск: КПР Амурской обл., 2000. 168 с.
9. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. школа, 1989. 528 с.
10. Разин Л.В., Рожков И.С. К геохимии золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений Куранахского типа. М.: Наука, 1966. 252 с.
11. Росляков Н.А., Нестеренко Г.В., Рослякова Н.В., Воротников Б.А. Применение геохимических методов при поисках и разведке золоторудных месторождений // Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. Чита: Заб. филиал географ. общества СССР, 1973. С. 5—9.
12. Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути. М.: Наука, 1972. 336 с.
13. Соловьев А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 294 с.
14. Степанов В.А., Мельников А.В., Вах А.С., Вьюнов Д.Л., Дементенко А.И., Пересторонин А.Е. Приамурская золоторудная провинция. Благовещенск: АмГУ; НИГТЦ ДВО РАН, 2008. 232 с.

Научно-исследовательский
геотехнологический центр ДВО РАН
(683002, г. Петропавловск-Камчатский,
Северо-Восточное шоссе, д. 30, а/я 56;
e-mail: yusupovd@mail.ru)
Рецензент — П.И. Игнатов

УДК 552.32

Ю.П. ТРУХИН, М.Д. СИДОРОВ, В.А. СТЕПАНОВ, В.Е. КУНГУРОВА

СТРОЕНИЕ И НИКЕЛЕНОСНОСТЬ КУВАЛОРОГСКОГО БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА

Рассмотрены строение, состав и никеленосность Кувалорогского габбро-пироксенит-кортландитового массива, расположенного в южной части Камчатской никеленосной провинции. Рудопоявления сульфидного медно-никелевого типа приурочены к краевым частям массива. Проведена интерпретация гравиметрического поля и плотностное моделирование. Установлено, что массив имеет лополитообразную форму, его мощность — 1 км. Нижняя часть интрузии существенно гипербазитового состава, верхняя — габбрового. Юго-западная часть интрузии осложнена серией разрывных нарушений, которые привели к нарушению пер-