



ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

Приводятся результаты опытных работ с использованием биогеохимического метода поисков золота на территории Вьюнского рудного поля в условиях криолитозоны. Дается сравнительный элементный анализ по контрольному профилю различных биокomпонентов в сочетании с данными литохимического опробования и шлиховых проб. По результатам исследования установлено, что при биогеохимических методах поисков золота в условиях криолитозоны следует отдавать предпочтение мху или ягелю.

Ключевые слова: рудное поле, золото, биогеохимический метод, биокomпоненты, литохимическое опробование.

В настоящее время в Российской Федерации отмечается значительный дефицит рентабельных запасов различных видов полезных ископаемых, в том числе благородных металлов. Близки к исчерпанию разведанные запасы золота вследствие интенсивного освоения минерально-сырьевой базы, ухудшения условий эксплуатации месторождений, уменьшения содержания полезных компонентов. В связи с этим встает вопрос организации эффективных методов поисков золоторудных объектов, одним из которых является биогеохимический [9].

Биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых базируются на выявлении биогенных ореолов элементов-индикаторов полезных ископаемых [2], поступающих из почвенного покрова в растения. Методы отличаются доступностью и являются одним из наиболее эффективных инструментов, используемых при поисках скрытых руд [8].

Полиметаллические геохимические аномалии на территориях рудных объектов зачастую обладают ярко выраженной контрастностью [13], что находит отражение в химическом составе растений, которые наследуют специфику локальных геохимических фонов, в том числе аномально высоких [10].

Поступление химических элементов в почву, а затем и в растения, связано с выветриванием материнских пород, ветровой эрозией, комплексообразованием с гуминовыми кислотами, сорбцией минеральных веществ в почвенном покрове [14, 15].

Степень поглощения того или иного химического элемента растениями из почвенного покрова во многом зависит от формы нахождения элементов. Так, в почве они могут быть сконцентрированы в минеральной кристаллической структуре, находиться в адсорбированном состоянии на поверхности глинистых ми-

Язиков Егор Григорьевич

доктор геолого-минералогических наук
профессор¹
yazikovveg@tpu.ru

Филимоненко Екатерина Анатольевна

кандидат геолого-минералогических наук
старший преподаватель¹
filimonenkoea@mail.ru

Мишанькин Андрей Юрьевич

аспирант¹
andreyka.mishankin@mail.ru

Собянин Юрий Петрович

директор²
yuri_sob63@mail.ru

Карпенко Юрий Андреевич

аспирант¹
karpenkoyuriy92@gmail.com

¹ ФГАОУ ВО НИ ТПУ
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
г. Томск

² ООО «Богуславец»,
г. Якутск

нералов, а также в виде оксидов и комплексов с органическими веществами [12].

Из воды растворённые формы химических элементов поглощаются растениями со значительно большей (в тысячи раз) интенсивностью, чем из твёрдой фазы, контактирующей с корневыми системами [10].

Конкретные методики проведения биогеохимических поисков рудных объектов могут быть весьма разнообразными и зависеть от геологических задач поисковых работ, условий их проведения и имеющейся аналитической базы. Однако существует ряд универсальных принципов, которым необходимо следовать в практике биогеохимических работ. Один из них – однообразия опробования. Он заключается в том, что все отбираемые пробы должны быть идентичными. В целях исключения вегетационных колебаний рекомендуется проводить опробование растений в течение наиболее короткого промежутка времени. Важную роль также играет принцип комплексности, согласно которому поисковые работы рекомендуется проводить с применением совокупности методов [4, 8], например, вместе с изучением растительности, исследуя почвенный покров. Данный принцип находит отражение в настоящей работе.

Для выбора наиболее подходящего растения для проведения биогеохимических поисков на территории Вьюнского золоторудного поля (Республика Саха (Якутия)) были организованы опытные работы в границах участка Андрей.

В геологическом плане участок Андрей входит в состав золоторудного месторождения Вьюн, которое, в свою очередь, относится к Эльгенджинскому рудно-россыпному узлу Адычанской золотоносной зоны, протягивающейся в северо-западном направлении на 300 км при ширине до 50 км. В более широком смысле исследуемый участок месторождения Вьюн является частью Яно-Колымского пояса (рис. 1).

Участок Андрей находится на выположенной возвышенности, имеет сильно расчленённый горный рельеф с глубоко врезанными заболоченными долинами. Его слагают терригенные отложения верхнетриасового возраста (преимущественно аргиллиты и алевролиты), относящиеся к периферической части надинтрузивной зоны нескрытого Бурганджинского гранитоидного массива с предполагаемой глубиной залегания кровли гранитоидов до 2 км. Интрузивные образования развиты ог-

раниченно и представлены дайками пород умеренно кислого состава.

Большая часть территории участка покрыта глыбовым материалом. Встречаются небольшие пропластки мелкозёма.

Малая величина оттайки поверхности исследуемой территории (не более 0,2 м), преобладание крупнообломочного материала и льда под растительным покровом, редкая встречаемость мелкозёма, а также сильная обводнённость низин и долин послужили решающими факторами в пользу проведения опытных работ, за основу которых было принято биогеохимическое опробование.

Геохимические работы на участке Андрей были организованы по профильной системе и включали биогеохимическое и литохимическое опробования, а также отбор шлиховых проб. Расстояние между профилями – 50 м, интервал между точками опробования на каждом из профилей – 20 м. При этом основным профилем, по которому проводились опытные работы, являлся профиль № 3 (рис. 2).

На каждой точке производился отбор образцов следующих видов: ветки и листья карликовой берёзы (раздельно и вместе); ветки и листья багульника (раздельно и вместе); ягель и мох (мхи отбирались из «моховой подушки» без деления их на отдельные виды и роды). Таким образом, каждая точка биогеохимических исследований была представлена восемью биогеохимическими образцами.

После высушивания биогеохимические образцы подготавливались к анализу измельчением – сначала ручным, затем механическим с использованием кофемолки. Отдельно стоит отметить, что биогеохимические пробы перед анализом не озолялись, а сразу подвергались растворению в кислотах.

Литохимическое опробование на участке Андрей было произведено по одному контрольному профилю с шагом отбора образцов 20 м. Литохимические пробы были высушены, затем просеяны через сито с размером ячейки 1 мм и истёрты до пудры.

Для установления элементного состава биогеохимических (62 химических элемента) и литохимических проб (24 химических элемента) использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск). Шлиховое опробование было также проведено по контрольному профилю участка Андрей с шагом отбора образцов 40 м.

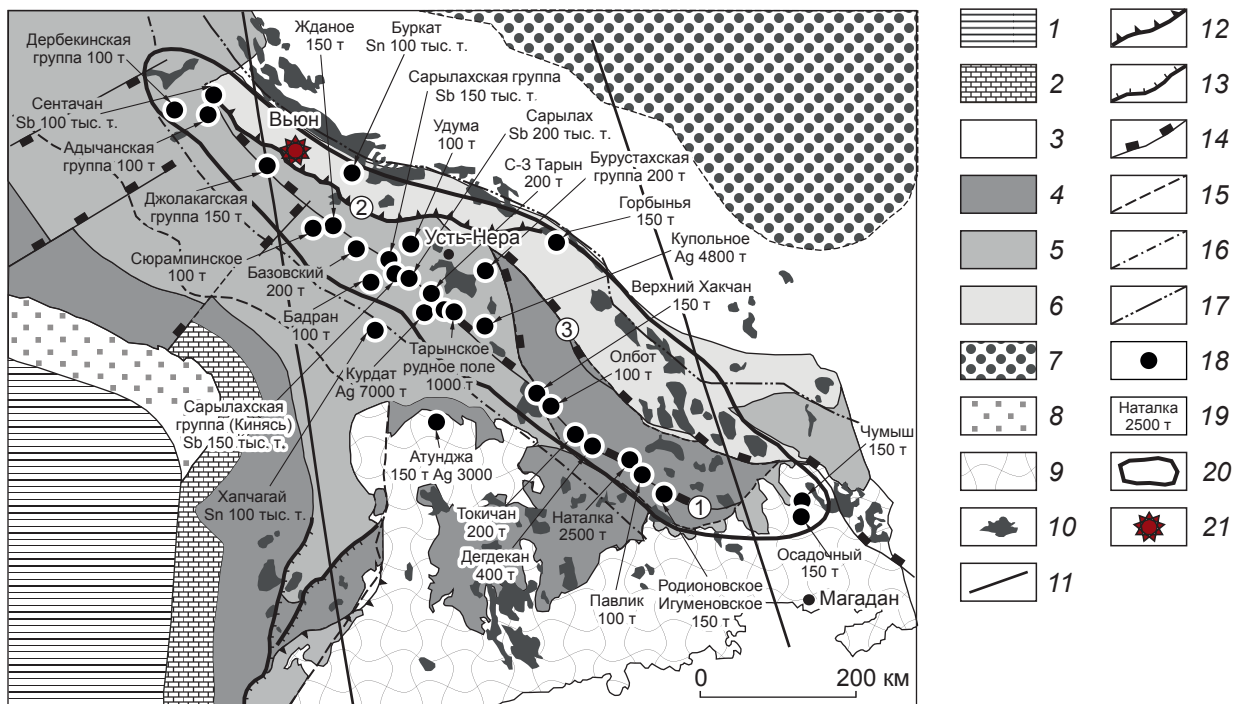


Рис. 1. МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВЬЮН В СОСТАВЕ ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА, ПО А. И. НЕКРАСОВУ, 2017 г.:

1 – чехольные отложения Сибирской платформы; 2 – рифейские позднепалеозойские терригенно-карбонатные отложения Сетте-Дабанского пояса; 3 – докембрийско-раннемезозойские породы Черско-Полоусненского пояса; 4 – позднепалеозойские терригенные отложения Верхоянского, Яно-Охотского и Яно-Колымского поясов; 5 – триасово-раннеюрские отложения Верхоянского, Яно-Охотского и Яно-Колымского поясов; 6 – позднеюрские терригенные породы Иньяли-Дебинского сегмента Яно-Колымского пояса; 7 – средне-позднеюрские терригенные отложения Илин-Тасского пояса; 8 – позднеюрско-меловые отложения Предверхоянского пояса; 9 – меловые вулканогенные отложения Охотско-Чукотского вулканического пояса; 10 – коллизионные гранитоидные массивы Главного пояса гранитоидов пояса Черского; 11 – региональные разломы; 12 – надвиги; 13 – прочие разломы; 14 – восточная граница Верхоянского пояса; 15 – восточная граница Яно-Охотского пояса; 16 – восточная граница Яно-Колымского пояса; 17 – восточная граница Черско-Полоусненского пояса; 18 – наиболее крупные месторождения, рудопроявления, рудные поля и узлы; 19 – запасы и прогнозные ресурсы месторождений, в некоторых случаях суммарно с потенциалом конкретных рудных полей или узлов; 20 – условный контур Яно-Колымской золотоносной провинции; цифры в кружках: 1 – Адыча-Тарыньская система взбросов, 2 – Чаркы-Индибирский надвиг, 3 – Чай-Юрьинский взброс; 21 – месторождение Вьюн

Минералогический анализ шлихов проводился в лаборатории «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк).

Оценки значимых числовых характеристик содержаний элементов в литохимических пробах, отобранных по профилю № 3 участка Андрей, представлены в табл. 1.

По результатам шлихового опробования установлено присутствие зёрен золота в пробах данного контрольного профиля, среди сульфидов в шлихах были обнаружены пирит, халькопирит и арсенипирит, которые являются минералами-спутниками благородного металла. По результатам элементного состава установлено, что золото в лито-

химических пробах имеет значимые ($p = 0,05$) положительные корреляционные связи с Sb ($r = 0,65$) и W ($r = 0,71$). Из всего перечня значимых положительных корреляций, установленных для Sb и W, следует выделить их взаимосвязи с As (Sb-As, $r = 0,80$; W-As, $r = 0,53$) и Co (Sb-Co, $r = 0,67$). Эти элементы по сравнению с другими, корреляционно связанными с Sb и W, характеризуются большей степенью дифференцированности концентраций в литохимических пробах. Концентрации большинства элементов в литохимических пробах слабо дифференцированы в пределах профиля (коэффициент вариации 20–40 %: Se, Hf, Be, Nb, Mo, Sn, Cu, W, Ni, Pb, Cr, Bi, Zn, Tl, V, Fe, P). Средняя степень ва-

1. ОЦЕНКИ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ С ПРОФИЛЯ № 3 УЧАСТКА АНДРЕЙ, мг/кг

Химический элемент	$X_{\text{ср.}}$	$X_{\text{геом.}}$	$X_{\text{мед.}}$	Min	Max	S	δm	V, %	A	δA	E	δE
Be	1,59	1,55	1,49	0,88	2,14	0,38	0,10	24	-0,2	0,6	-0,9	1,1
P	1288	1203	1112	566	2230	497	128	39	0,7	0,6	-0,4	1,1
V	134,5	123,7	141,8	37,7	201,1	49,0	12,6	36	-0,5	0,6	-0,8	1,1
Cr	91,5	85,3	96,7	25,4	127,6	29,5	7,6	32	-0,9	0,6	0,2	1,1
Mn	614	443	390	153	2960	688	178	112	3,2	0,6	11,2	1,1
Fe	37 511	34 645	42 946	15 620	61 244	14 367	3710	38	-0,1	0,6	-1,4	1,1
Co	15,8	14,3	16,3	6,9	27,0	6,8	1,8	43	0,0	0,6	-1,2	1,1
Ni	41,0	39,3	42,1	24,8	58,8	11,9	3,1	29	0,1	0,6	-1,6	1,1
Cu	48,6	47,1	47,7	31,4	89,0	13,7	3,5	28	1,9	0,6	5,1	1,1
Zn	94,1	88,8	87,4	47,5	145,4	32,3	8,3	34	0,2	0,6	-1,4	1,1
As	22,2	19,6	26,7	8,3	40,6	10,7	2,8	48	0,1	0,6	-1,4	1,1
Se	0,53	0,52	0,50	0,50	0,90	0,10	0,03	20	3,9	0,6	15,0	1,1
Nb	4,79	4,60	4,80	1,82	6,18	1,22	0,31	25	-1,1	0,6	1,3	1,1
Mo	1,40	1,34	1,43	0,79	2,06	0,39	0,10	28	-0,1	0,6	-1,0	1,1
Ag	0,67	0,44	0,48	0,06	1,58	0,53	0,14	78	0,4	0,6	-1,5	1,1
Cd	0,22	0,18	0,15	0,05	0,79	0,19	0,05	84	2,4	0,6	5,8	1,1
Sn	1,70	1,64	1,74	0,90	2,44	0,48	0,12	28	-0,1	0,6	-1,4	1,1
Sb	1,72	1,59	1,51	0,84	3,58	0,77	0,20	45	1,4	0,6	1,7	1,1
Hf	0,52	0,50	0,51	0,29	0,71	0,12	0,03	24	-0,2	0,6	-0,7	1,1
W	0,68	0,66	0,62	0,42	1,09	0,20	0,05	29	0,7	0,6	-0,2	1,1
Au	0,004	0,003	0,003	0,001	0,024	0,006	0,001	127	3,3	0,6	11,7	1,1
Tl	0,47	0,43	0,50	0,08	0,71	0,17	0,04	36	-0,7	0,6	0,4	1,1
Pb	14,1	13,2	14,9	4,3	19,8	4,4	1,1	31	-0,6	0,6	0,1	1,1
Bi	0,20	0,19	0,25	0,10	0,28	0,07	0,02	34	-0,3	0,6	-1,9	1,1

2. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПАРНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ЗОЛОТОКВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ В ПРЕДЕЛАХ ПРОФИЛЯ № 3 УЧАСТКА АНДРЕЙ

Химический элемент	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Au	Bi
«Лито-ягель»	0,05	-0,22	-0,19	0,02	-0,17	0,10	-0,04
«Лито-мох»	-0,25	-0,11	-0,33	0,06	-0,22	-0,20	0,21
«Лито-багульник (листья)»	0,56	0,02	0,22	0,05	-0,27	-	-0,29
«Лито-багульник (ветки)»	0,75	-0,17	-	0,13	0,15	-0,10	-0,21
«Лито-багульник (общее*)»	0,57	0,03	-	-0,35	0,23	0,19	0,66
«Лито-берёза (листья)»	-0,38	-0,12	-	0,46	0,38	-	-0,59
«Лито-берёза (ветки)»	0,29	-0,12	0,38	0,08	-0,13	-	-
«Лито-берёза (общее)»	-0,34	-0,17	0,11	0,22	-0,46	-0,09	0,11
«Лито-ягель»	-0,02	-0,31	-0,48	0,03	-0,22	-0,09	-0,41
«Лито-мох»	-0,23	-0,17	-0,07	-0,38	-0,03	-0,67	0,22
«Лито-багульник (листья)»	0,87	0,37	0,36	0,06	-0,24	-	-0,83
«Лито-багульник (ветки)»	0,85	-0,11	-	-0,21	-0,34	0,17	-0,44
«Лито-багульник (общее*)»	0,91	0,38	-	-0,42	-0,15	-	0,53
«Лито-берёза (листья)»	-0,37	-0,11	-	0,03	0,83	-	-0,55
«Лито-берёза (ветки)»	0,63	-0,10	0,60	-0,13	-0,04	-	-0,02
«Лито-берёза (общее)»	-0,25	-0,44	0,31	0,18	-0,51	-0,03	0,22

Примечание. *общее – ветки с листьями. Жирным шрифтом выделены значимые связи.

риативности концентраций (коэффициент вариации 43–84 %) установлена для Co, Sb, As, Ag, Cd; высокая – для Mn и Au (112 и 127 % соответственно).

Результаты расчётов парных коэффициентов корреляции между концентрациями элементов-

спутников малосульфидного золотокварцевого оруденения (по В. Н. Макарову) [5] в лито- и биогеохимических пробах представлены в табл. 2.

Анализ матриц парных корреляций элементного состава изучаемых биообъектов позволил уста-

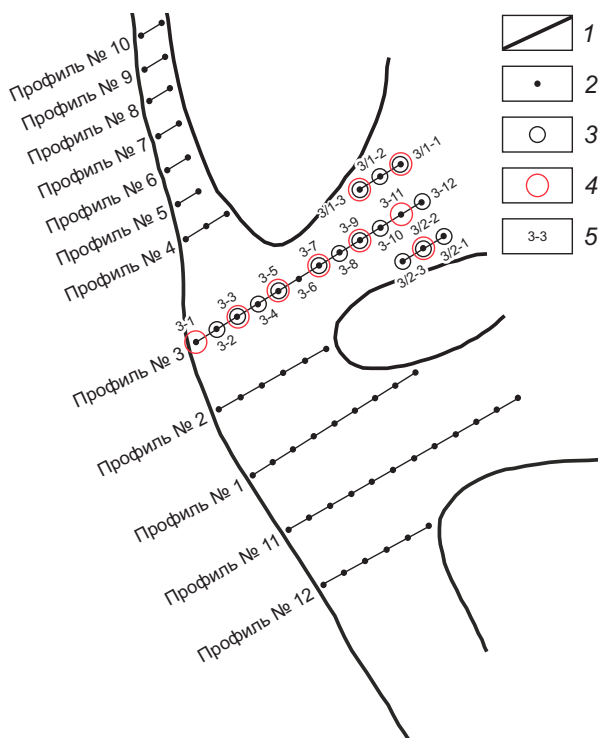


Рис. 2. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО, ЛИТОХИМИЧЕСКОГО И ШЛИХОВОГО ОПРОБОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УЧАСТКА АНДРЕЙ:

1 – граница заболоченного участка; пробы: 2 – биогеохимическая, 3 – литохимическая, 4 – шлиховая; 5 – шифр пробы

новить, что для ягеля характерна ассоциация элементов, наиболее близко отражающая общие геохимические и литохимические особенности территории участка Андрей. Эта ассоциация представлена Au, As, Sb, W, Cr, Cu, Cd, Mo, Bi, которые образуют между собой 12 значимых парных корреляций. По другим изученным биообъектам такой взаимосвязанной полиэлементной группы не установлено.

Важное условие при выборе вида растения для проведения биогеохимических поисков – способность концентрировать элементы-индикаторы. Поэтому при обработке результатов опытных биогеохимических работ особое внимание уделяется анализу средних концентраций химических элементов в опробованных биообъектах и особенностям распределения концентраций элементов между органами растений.

Согласно хоздоговорной работе от 27 апреля 2017 г. «Фоновая эколого-геохимическая оценка тер-

3. СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ, КОРЕ ЛИСТВЕННИЦЫ ДАУРСКОЙ И ЯГЕЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ ВЬЮНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Химический элемент	Содержание, мг/кг		
	Почва	Кора лиственницы даурской	Ягель
As	33	0,073	0,19
Ag	0,78	0,014	0,016
Au	0,932	0,0033	0,0028

ритории Вьюнского рудного поля (площадь 117,8 км²) на доэксплуатационной стадии работ по данным изучения компонентов природных сред (Республика Саха (Якутия)) проводились фоновые оценки в природных компонентах, которые приводятся по ряду элементов в табл. 3. В ней отражены данные о средних по Вьюнскому рудному полю содержаниях химических элементов в почве, коре лиственницы даурской и ягеле, которые можно принять за условный местный фон C_{ϕ} .

В карликовой берёзе концентрации Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Eu, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Au, Tl, Th (18 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества листьев карликовой берёзы, а в пробах сухого вещества веток карликовой берёзы концентрации Sc, V, Ge, As, Se, Mo, In, Sn, Te, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Th (25 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 %.

Во всех образцах листьев и веток карликовой берёзы, изученных отдельно друг от друга, концентрации золота ниже предела обнаружения (менее 0,003 г/т), при этом в четырёх из 18 образцах веток с листьями концентрации золота отличны от нуля и изменяются в диапазоне от 0,0038 до 0,0114 г/т.

Для багульника концентрации Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Re, Pt, Au, Th (22 элемента из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества листьев, а концентрации Li, Be, Sc, V, Ge, As, Se, In, Sn, Te, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Re, Pt, Hg, Th, U (26 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества веток растения.

Для ягеля концентрации Sc, Se, Sn, Te, Re, Pt (6 элементов из изученных 62) имеют величины ниже

аналитического предела обнаружения в 80–100 % проб сухого вещества.

В пробах сухого вещества мха концентрации Sc, Se, Sn, Te, Re, Pt, Au (7 элементов из изученных 62) имеют величины ниже аналитического предела обнаружения в 80–100 % случаев, тогда как для других элементов устанавливаются содержания 40 из 62 изученных химических элементов – Li, Be, Al, Ti, V, Fe, Co, Ge, As, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Hg, Pb, Bi, Th, U.

В целом для биообъектов отмечаются наибольшие содержания Mg, P, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Cd в карликовой берёзе, а K, Rb, Ba, Tl – в багульнике. Из всех изученных проб растительности наибольшими средними концентрациями Au характеризуется ягель. Уровни содержания широкого спектра химических элементов (Li, Be, Al, Ti, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Pb, Bi, Th, U) в ягеле имеют значения, превышающие в 1,3–14,8 раз соответствующие содержания в изученных растениях (карликовая берёза и багульник), однако в 1,1–26,6 раз ниже, чем в образцах мха. Ягель, произрастающий на участке Андрей, в 1,5–5,7 раз обогащён Be, Lu, Eu, Er, Ho, Y, Tm, Tb, Dy, Gd, Sm, Yb, Cd, Zn, Nd, Au, Ca, Li относительно среднего состава ягеля Вьюнского рудного поля, при этом в 1,5–4,2 раза обеднён Sb, Mn, U, Pb, Ba, V, Th, Tl, Fe, Cs, Hg, Nb, Zr, Na, As.

На рис. 3–5 приведены графики, отражающие сравнительную характеристику содержаний Au, а также некоторых элементов-индикаторов малосульфидного золото кварцевого оруденения в литохимических и биогеохимических пробах с профиля № 3. На графиках видно, что литохимические аномалии в пределах профиля № 3 участка Андрей наследуются мхом и ягелем.

Необходимо отметить, что оруденение Вьюнского рудного поля имеет жильный характер (малосульфидные золото кварцевые жилы). Поэтому площадные характеристики и контуры аномалий могут выделяться не столь контрастно.

Опытные исследования были организованы по профилю, что не в полной мере характеризует аномалии в пространственном отношении.

Минимальное требование для успешного использования биогеохимического метода поиска месторождений полезных ископаемых – достаточное поглощение почвенных элементов растениями одного используемого вида.

Для характеристики интенсивности поглощения химического элемента растительными видами применяют коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение содержания элемента в растении к содержанию элемента в горной породе или почве, на которой оно произрастает [3]. Наибольший КБП характерен для химических элементов, выполняющих физиологическую функцию в питании и обмене веществ растений (Ca, K, C, N, B, F, S и др.).

По индикаторной эффективности элементы минерального питания растений подразделяются на несколько групп. Наибольший интерес представляют микроэлементы, не концентрирующиеся в растениях в условиях фона (например, Pb, W, Au, Ta, Nb и др.), что обусловлено отсутствием физиологических функций, выполняемых ими в живых организмах. Именно эти химические элементы являются наилучшими биогеохимическими индикаторами, «ложные» аномалии по ним, как правило, отсутствуют [1].

По данным расчётов КБП (отношение концентрации химического элемента в субстрате произрастания биообъекта (литохимические данные) и концентрации химического элемента в сухом веществе биообъекта (биогеохимические данные)) химических элементов для изученных растений на профиле № 3 участка Андрей сформированы ряды, отражающие интенсивность поглощения различных химических элементов живым веществом из субстрата, на котором они произрастают, при этом наибольшие значения КБП соответствуют более интенсивному бионакоплению элемента. Ряды по величинам КБП для изученных биообъектов имеют следующий вид (приведены химические элементы с КБП > 0,1):

- ягель $Au_{1,23} - Cd_{0,31} - P_{0,24} - Mn_{0,21} - Zn_{0,16}$;
- мох $Au_{5,35} - Cd_{2,34} - Mn_{1,67} - P_{0,75} - Zn_{0,45} - Ag_{0,23}$;
- багульник (листья) $Mn_{5,37} - P_{1,25} - Au_{0,79} - Zn_{0,26}$;
- багульник (ветки) $Mn_{3,02} - Au_{1,07} - P_{0,66} - Zn_{0,20}$;
- багульник (ветки с листьями) $Mn_{5,00} - Au_{1,12} - P_{1,12} - Zn_{0,24}$;
- карликовая берёза (листья) $Mn_{8,66} - Cd_{4,39} - Zn_{1,99} - P_{1,49} - Au_{0,83}$;
- карликовая берёза (ветки) $Cd_{3,03} - Zn_{1,45} - Mn_{1,13} - Au_{0,83} - P_{0,57}$;
- карликовая берёза (ветки с листьями) $Cd_{4,06} - Mn_{1,89} - Zn_{1,59} - Au_{1,56} - P_{0,71}$.

Сформированные ряды по убыванию КБП для изученных биообъектов включают в себя общий перечень химических элементов – Au, Mn, Zn, P, Cd.

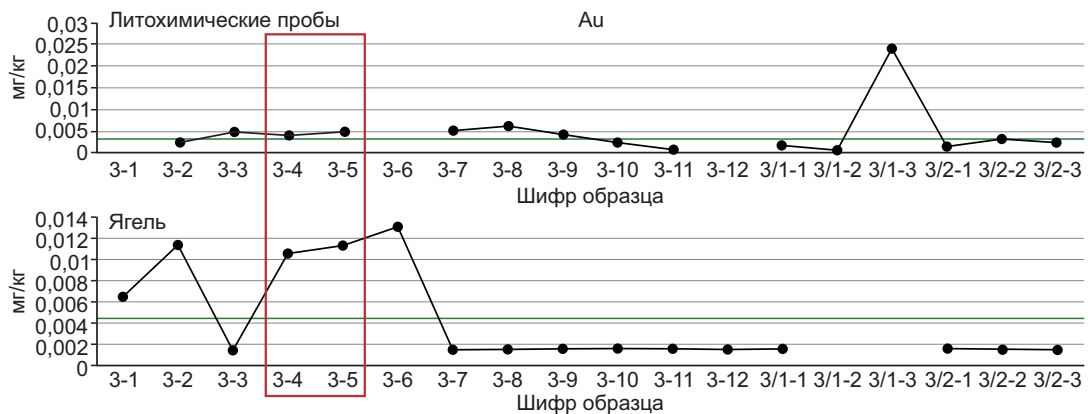


Рис. 3. КОНЦЕНТРАЦИИ Au В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ И ПРОБАХ ЯГЕЛЯ С ПРОФИЛЯ № 3

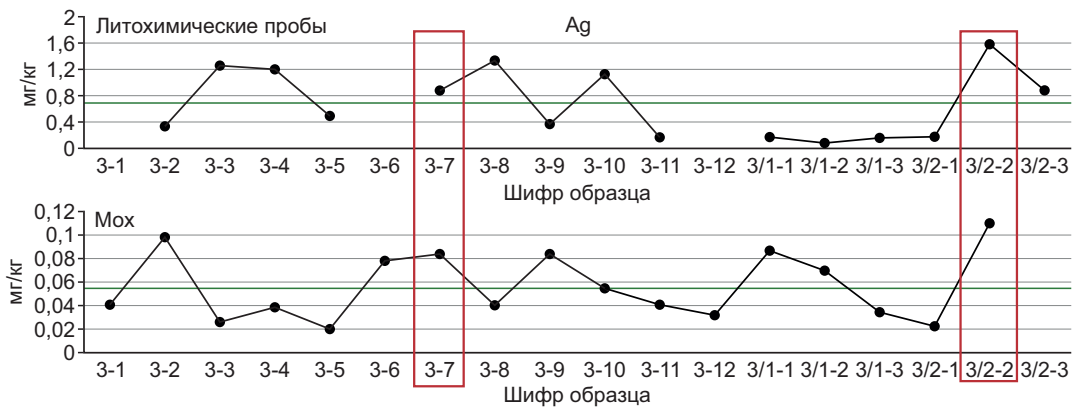


Рис. 4. КОНЦЕНТРАЦИИ Ag В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ И ПРОБАХ МХА С ПРОФИЛЯ № 3

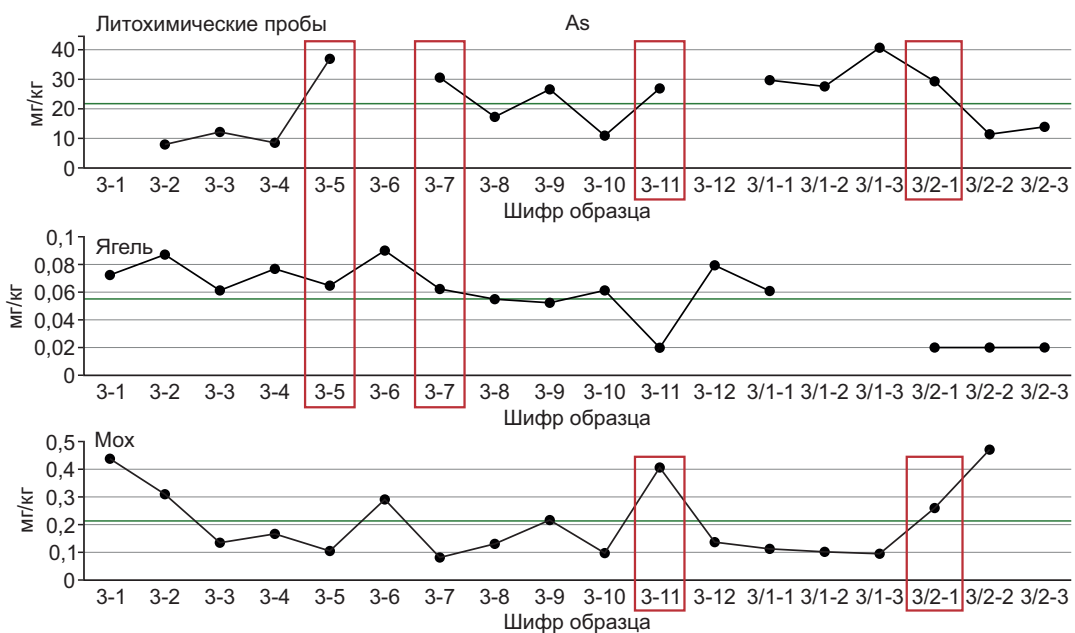


Рис. 5. КОНЦЕНТРАЦИИ As В ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ, ПРОБАХ ЯГЕЛЯ И МХА С ПРОФИЛЯ № 3

В зависимости от исследуемого биообъекта последовательность элементов в ряду варьируется.

Таким образом, основываясь на полученных результатах опытных биогеохимических исследований, проведённых на контрольном профиле участка Андрей, и на общих требованиях, предъявляемых к биогеохимическим методам поиска, при выборе биообъекта для осуществления биогеохимических поисков золота в условиях криолитозоны следует отдавать предпочтение мху или ягелю. Необходимо отметить, что при обработке биогеохимических данных и выявлении аномалий следует сравнивать результаты, полученные по ягелю и по мхам, раздельно.

Отбор и подготовка проб ягеля менее трудоёмки, так как ягель быстрее высыхает и легче измельчается, что может существенно упростить и ускорить процесс биогеохимического опробования. Использование ягеля в качестве биогеохимического индикатора при поисках золота актуально для слабоувлажнённых участков, где отсутствует моховая подушка и нет рыхлых отложений для отбора литохимических проб. Несмотря на меньшую, по сравнению со мхами, способность ягеля к накоплению химических элементов уровень содержания золота и его спутников в сухом веществе ягеля является достаточным для выявления биогеохимических аномалий (при использовании высокочувствительного аналитического метода – масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой). По данным Т. Т. Тайсаева [11], в золоторудных зонах золото концентрирует большинство растений гольцовых ландшафтов – кустарничники, мох, лишайники, кора лиственницы и травы. Эти растения рекомендуются им для биогеохимических поисков золоторудных проявлений. Но несомкнутость и мозаичность распространения затрудняют использование ряда биологических видов для поисков. В этом отношении интересен ягель, который образует сомкнутые сообщества и покровы. Они покрывают большие пространства гольцовых плоскогорий – солифлюкционные склоны, днища речных и ледниковых долин, где развиты погребённые рудные зоны. По ягелю выделяются наложенные аномалии золота погребённых золото-сульфидных зон над солифлюкционными покровами.

Что касается мхов, то моховая подушка представляет собой своеобразный механический фильтр на пути водного потока и извлекает из него золото-содержащую взвесь. По моховой подушке чётко вы-

деляются литохимическая (во взвеси) и биогеохимическая (во мхах) составляющие потоков рассеяния золота [11]. Работа А. С. Макшакова с соавторами [6] на примере Дукатского золото-серебряного месторождения надёжно доказывает эффективность использования для поисков золота водных и почвенно-водных мхов (бриевые, сфагновые, андреевые) – моховых подушек, образующих брио-литохимические потоки рассеяния.

От большинства высших растений мхи отличаются не только типом размножения, но и отсутствием корней, которые для остальных высших растений служат основным источником получения воды и питательных веществ. Но особенностью мхов является то, что для прикрепления к субстрату, на котором они растут, в нижней части стебля они имеют корнеподобные многоклеточные волоски, так называемые ризоиды. В процессе роста растения ризоиды внедряются в субстрат и очень крепко удерживают его частицы. Основную массу воды и растворённые в ней минеральные составляющие мхи поглощают всей поверхностью, а нерастворимые минеральные вещества субстрата получают благодаря ризоидам [6]. Поэтому для увеличения информативности данных, получаемых при биогеохимических поисках золота по данным изучения мхов, в пробу мхов помимо биомассы следует включать литохимический материал илистой фракции, который трудно отделяем от ризоидов.

Удобство в использовании мхов при биогеохимических поисках заключается в отсутствии необходимости определения видовой принадлежности мхов, формирующих моховую подушку, так как для основных видов и родов мхов уже доказано, что концентрируют микроэлементы они одинаково [4]. Кроме того, мхи пользуются широким распространением. Среди них отмечается высокая поглощающая способность и безбарьерность по отношению практически ко всем микроэлементам.

Использование мхов для биогеохимических поисков золота на территории Вьюнского рудного поля может быть применено на заболоченных участках и участках с повышенной увлажнённостью, где развита мощная моховая подушка. Результаты опытных работ показали, что контрастность литохимических аномалий в пределах заболоченных территорий является недостаточной, тогда как уровни накопления золота и его спутников во мхах дают более дифференцированную характеристику территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Логос, 2000. – 354 с.
2. Брукс Р. Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М. : Недра, 1986. – 311 с.
3. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Ефимов О. Е., Злобина М. В. Ландшафтоведение. – М. : РГАУ-МСХА, 2016. – 130 с.
4. Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 172 с.
5. Макаров В. Н. Геохимические ореолы золоторудных месторождений Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы Всероссийской научно-практической конференции (6–8 апреля, 2016 г.). – Якутск, 2016. – С. 110–113.
6. Макшаков А. С., Кравцова Р. Г. Бриолитохимические исследования при прогнозе и поисках золото-серебряной минерализации по потокам рассеяния (Северо-Восток России) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2010. – № 1 (36). – С. 103–111.
7. Овсянникова Т. М. Биогеохимические методы поисков скрытых месторождений // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 2. – С. 3–11.
8. Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1964. – 106 с.
9. Радомский С. М., Радомская В. И. Благородные металлы рудного поля Албынского золоторудного месторождения Верхнего Приамурья // Георесурсы. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 141–146.
10. Рихванов Л. П. [и др.] Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет ; Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН ; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука. – Новосибирск : СО РАН, 2017. – 437 с.
11. Тайсаев Т. Т. Биогенная концентрация золота в ландшафтах золоторудных полей гольцовой зоны // Доклады Академии наук СССР. – 1988. – Т. 301, № 4. – С. 871–976.
12. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F. M. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review // Science of the Total Environment. – 2009. – № 407 (13). – P. 3972–3985.
13. Gałuszka A., Zdzisław M., Dołęgowska S., Michalik A. Geochemical anomalies of trace elements in unremediated soils of Mt. Karczówka, a historic lead mining area in the city of Kielce, Poland // Science of The Total Environment. – 2018. – № 63. – P. 397–405.
14. Ghazban F., Parizanganeh A., Zamani A., Baniardalan S. Evaluation of heavy metal contamination of surface soils in Zarshouran gold district, Northwestern Iran // International Journal of environmental research. – 2018. – № 12 (6). – P. 843–860.
15. Pérez-Sirvent C., Hernández-Pérez C., Martínez-Sánchez M. J., García-Lorenzo M. L., Bech J. Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain // Journal of Soils and Sediments. – 2016. – 16 (4). – P. 1238–1252.

REFERENCES

1. Alekseenko V. A. Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Geochemical methods of prospecting for mineral deposits], Moscow, Logos Publ., 2000, 354 p.
2. Bruks R. R. Biologicheskie metody poiskov poleznykh iskopaemykh [Biological methods of prospecting for minerals], Moscow, Nedra Publ., 1986, 311 p.
3. Ganzhara N. F., Borisov B. A., Efimov O. E., Zlobina M. V. Landshaftovedenie [Landscape science], Moscow, RGAU-MSKhA Publ., 2016, 130 p.
4. Kovalevskii A. L. Biogeokhimicheskie poiski rudnykh mestorozhdenii [Biogeochemical prospecting for ore deposits], Moscow, Nedra Publ., 1984, 172 p.
5. Makarov V. N. Geokhimicheskie oreoly zolotorudnykh mestorozhdenii Yakutii [Geochemical halos of gold deposits in Yakutia], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (6–8 aprelya, 2016 g.)* [Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference (April 6–8, 2016)], Yakutsk, 2016, pp. 110–113. (In Russ.).
6. Makshakov A. S., Kravtsova R. G. Briolitokhimicheskie issledovaniya pri prognoze i poiskakh zoloto-serebryanoi mineralizatsii po potokam rasseyaniya (Severo-Vostok Rossii) [Bryolithochemical studies in forecasting and searching for gold-silver mineralization by scattering streams (North-East of Russia)], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle RAEN* [Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences], 2010, No 1 (36), pp. 103–111. (In Russ.).

7. Ovsyannikova T. M. Biogeokhimicheskie metody poiskov skrytykh mestorozhdenii [Biogeochemical methods of prospecting for hidden deposits], *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2019, No 2, pp. 3–11. (In Russ.).
8. Polikarpochkin V. V., Polikarpochkina R. T. Biogeokhimicheskie poiski mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Biogeochemical prospecting for mineral deposits], Moscow, Nedra Publ., 1964, 106 p.
9. Radomskii S. M., Radomskaya V. I. Blagorodnye metally rudnogo polya Albynskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Verkhnego Priamur'ya [Noble metals of the ore field of the Albynsk gold ore deposit in the Upper Amur Region], *Georesursy [Georesources]*, 2017, V. 19, No 2, pp. 141–146. (In Russ.).
10. Rikhvanov L. P. et al. Biogeokhimicheskii monitoring v raionakh khvostokhranilishch gornodobyvayushchikh predpriyatii s uchetom mikrobiologicheskikh faktorov transformatsii mineral'nykh komponentov [Biogeochemical monitoring in the areas of tailing dumps of mining enterprises, taking into account the microbiological factors of transformation of mineral components], Novosibirsk, SO RAN Publ., 2017, 437 p.
11. Taisaev T. T. Biogennaya kontsentratsiya zolota v landshaftakh zolotorudnykh polei gol'tsovoi zony [Biogenic concentration of gold in the landscapes of gold ore fields of the alpine zone], *Doklady Akademii nauk SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, 1988, V. 301, No 4, pp. 871–976. (In Russ.).
12. Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tack F. M. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review, *Science of the Total Environment*, 2009, No 407 (13), pp. 3972–3985.
13. Gałuszka A., Zdzisław M., Dołęgowska S., Michalik A. Geochemical anomalies of trace elements in unremediated soils of Mt. Karczówka, a historic lead mining area in the city of Kielce, Poland, *Science of The Total Environment*, 2018, No 63, pp. 397–405.
14. Ghazban F., Parizanganeh A., Zamani A., Baniardalan S. Evaluation of heavy metal contamination of surface soils in Zarshouran gold district, Northwestern Iran, *International Journal of environmental research*, 2018, No 12 (6), pp. 843–860.
15. Pérez-Sirvent C., Hernández-Pérez C., Martínez-Sánchez M. J., García-Lorenzo M. L., Bech J. Geochemical characterisation of surface waters, topsoils and efflorescences in a historic metal-mining area in Spain, *Journal of Soils and Sediments*, 2016, No 16 (4), pp. 1238–1252.

TESTWORK TO IMPROVE BIOCHEMICAL GOLD PROSPECTING METHOD WITHIN A CRYOLITE ZONE (EXAMPLE FROM VYUNSKOYE ORE FIELD, REPUBLIC OF SAKHA, YAKUTIA)

E. G. Yazikov (PhD, professor ¹)

E. A. Filimonenko (PhD, senior lecturer ¹)

A. Yu. Mishankin (postgraduate ¹)

Yu. P. Sobyenin (director ²)

Yu. A. Karpenko (postgraduate ¹)

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

² LLC Boguslavets, Yakutsk

The paper presents the results of testwork using biochemical gold prospecting method within the Vyunskoye ore field in a cryolite zone. A comparative elemental analysis on a control profile of various biocomponents combined with lithochemical and concentrate sampling data is provided. Based on the study results, it was found that studies should be focused on moss when using biochemical gold prospecting methods in a cryolite zone.

Keywords: ore field, gold, biogeochemical method, biocomponents, lithochemical sampling.

