

Д.В. Юсупов

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ СУПЕРАКВАЛЬНЫХ ЗАКРЫТЫХ ЛАНДШАФТОВ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

The article adduces the results of biogeochemical method of prospecting deposit a gold scattering within blind boggy landscapes of the Upper Amur River region. In the research the peculiarities of biogeochemical anomalies have been studied, including distribution and forms of content of gold, silver and other elements in plants of the stream is Small Alkagan.

Введение

В 2001 г. автором были проведены опытно-методические биогеохимические исследования в пределах Тыгда-Улунгинского золотоносного узла Верхнего Приамурья, в долине ручья Мал. Алкаган на участке с разведанной россыпью золота. Ручей Мал. Алкаган является правым притоком ручья Алкаган, впадающего в р. Улунга. Данные по золотоносности долины ручья Мал. Алкаган были установлены по результатам разведок россыпи разных лет (1933, 1947, 1966, 1996 гг.). По сведениям из фондовых материалов в начале XX в. ниже устья ручья Зоновский – правого притока ручья Мал. Алкаган – велась отработка россыпи и добыто 200 кг золота. В 1996 г. старателями артели «Улунга» пройдено 4 буровые линии через 1200 м, подсчитаны прогнозные ресурсы россыпного золота по категории Р₁ (А.К. Иванищенко, 1996).

Цель работы – обоснование эффективности применения биогеохимического метода для поисков россыпных месторождений золота и их коренных источников в пределах закрытых природных супераквальных ландшафтов Верхнего Приамурья.

Ландшафтные условия

Долина ручья Мал. Алкаган расположена в таежно-мерзлотной зоне Верхнего Приамурья в подзоне южной тайги, представлена элювиально-супераквальным (заболоченным) закрытым ландшафтом.

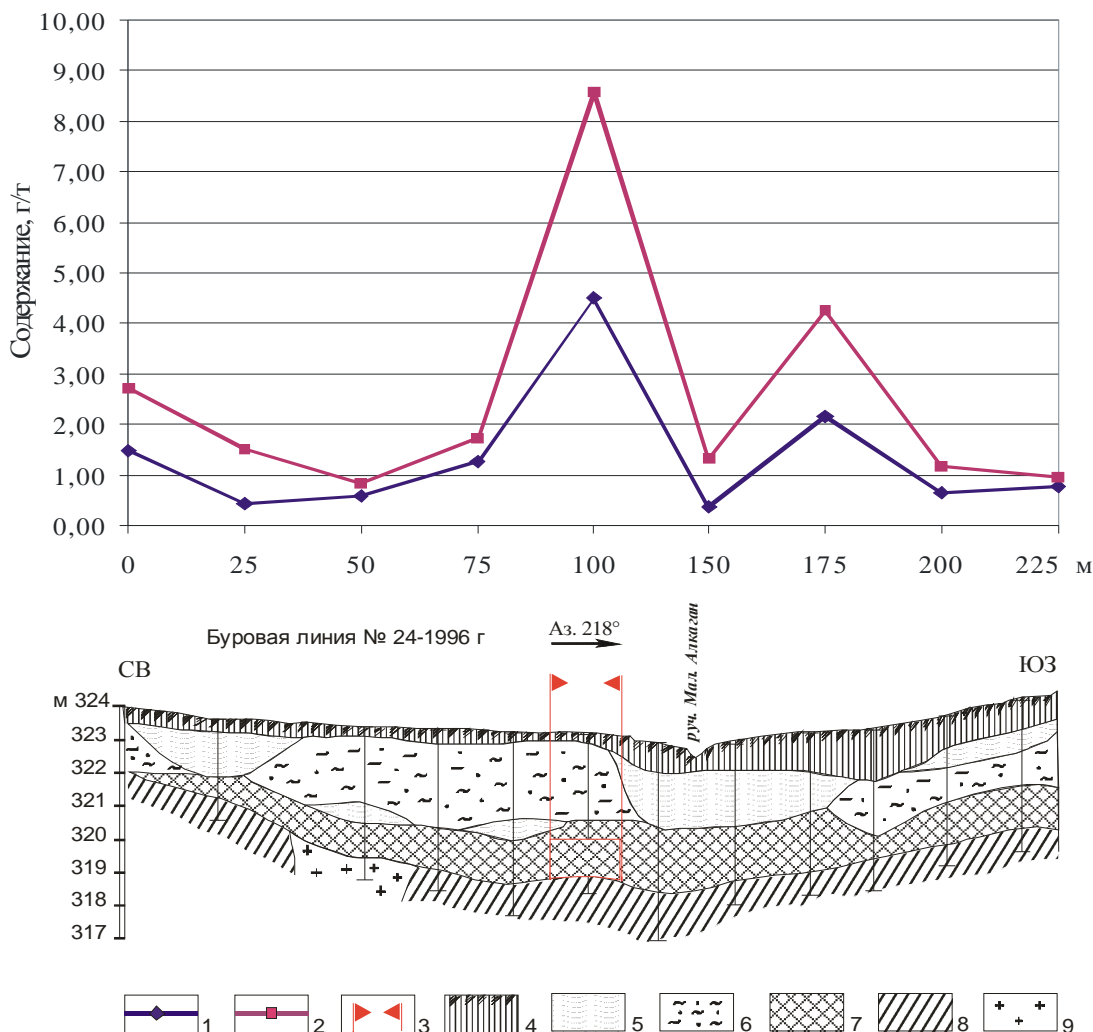
Рельеф участка увалисто-холмистый, слабо расчлененный, с абсолютными отметками 320-350 м. Протяженность долины – более 6 км. Ширина долины 300-500 м, поперечный профиль ее симметричный, пологий. Склоны без заметного уступа переходят в пойму. Пойма повсеместно заболочена.

В долине развиты торфяно-глеевые и болотные торфяные почвы. Условия залегания этих почв обуславливают формирование торфянистого горизонта и развитие глеевых процессов. Болотные почвы имеют сильноокислую реакцию солевого раствора по всему профилю (рН 2,5-3,8). Район входит в зону распространения островной многолетней мерзлоты долинного типа мощностью до 50 м. В зоне холодных длительно промерзающих почв замедлено разложение органических веществ верхних горизонтов почвы, что ведет к образованию гумуса фульватного типа.

Значительную площадь занимают переувлажненные и заболоченные участки долины с листовенничным редколесьем. Тальвеговые пространства долины заняты безлесной марью с болотной травянисто-кустарниковой растительностью.

Растительный покров представлен осоково-гипновым, кустарничко-осоково-сфагновым комплексами с багульником болотным (*Ledum palustre*) и голубикой (*Vaccinium uliginosum*). Марь занята преимущественно видами кустарниковых берез (ерником), состоящими из березы кустарниковой (*Betula exilis*) и овальнолистной (*Betula ovalifolia*). Повсеместно в долине

Источником россыпей является золотокварцевая формация, которая представлена небольшими рудными кварцевыми и кварц-полевошпатовыми жилами и зонами прожилкового окварцевания с сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены преимущественно пиритом. Содержание золота в штучных пробах кварца и окварцованных пород составило от 0,3 до 10 г/т.



№ скважины	8	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Расстояние между скважинами, м		40	20	20	20	20	20	21	18	20	20
Глубина скважины, м	3,6	5,6	6,0	6,0	6,0	7,2	6,0	6,0	6,0	5,6	5,6
Мощность массы, м	3,2	4,8	5,2	5,6	5,2	5,6	5,2	5,2	4,8	4,8	4,8
Среднее содержание Au на массу, мг/м ³	26	18	16	11	93	52	23	55	21	31	1
Мощность торфов, м					4,0			4,0			
Мощность песков, м					1,2			1,2			
Среднее содержание Au на пласт, мг/м ³					389			223			

Рис. 1. Распределение золота и серебра в золе растений по биогеохимическому профилю над россыпью долины ручья Мал. Алкаган:
 1 – Au; 2 – Ag; 3 – разведанная россыпь золота с ресурсами категории P₁; 4 – почвенно-растительно-торфяной слой; 5 – средне-верхнечетвертичные аллювиальные пески, галечники, гравийники, глины; 6 – современные аллювиальные пески, галечники, глины; 7 – верхнечетвертичные аллювиальные пески, галечники с валунами; 8 – верхнеюрские песчаники, алевролиты, аргиллиты; 9 – граниты.

По данным А.А. Луцья (1990), россыпи района, в том числе россыпь ручья Мал. Алкаган, относятся к россыпям ближнего сноса и располагаются либо непосредственно на коренных

источниках, либо на ближайшем от них удалении. Источники сноса находятся в прирусловой, тальвеговой части и не выходят за пределы долины. По данным буровых работ 1996 г., ресурсы россыпного месторождения золота ручья Мал. Алкаган оценены по категории P₁ в количестве (х/ч) – 15,6 кг при среднем содержании 288 мг/м³ и по руч. Зоновский – 10,8 кг при среднем содержании 674 мг/м³ (А.К. Иванищенко, 1996).

Методика работ

Опытнo-методические работы на россыпи Мал. Алкаган включали оценку ландшафтных (геоморфологических, флористических, геологических) особенностей участка и биогеохимическую съемку в летний сезон. Биогеохимическое опробование производилось вдоль шурфовочных и буровых разведочных профилей (1966 и 1996 гг.). Было заложено 14 биогеохимических профилей, протяженностью 150-470 м, перпендикулярно простиранию долины. Расстояние между профилями составило приблизительно 250 м, с точками отбора проб по профилю через 25-50 м.

Объектом опробования послужили три доминирующих вида многолетних растений – ива черниковидная (*Salix myrtilloides*), ива коротконожковая (*Salix brachypoda*) и береза кустарниковая (*Betula exilis*). Эти виды относятся, по данным А.Л. Ковалевского [4], к первой группе биообъектов, являются безбарьерными, количественно-информативными биогеохимическими индикаторами Au, Ag и могут использоваться совместно, без введения поправок на вид растения.

В пробу отбирались отдельные многолетние побеги с листьями примерно одного возраста, одного вида в радиусе 10-15 м от опорной точки (буровой штаги). Вес биогеохимических проб определялся опытным путем. С учетом зольности 3,5-4% он составил 150-200 г сухого вещества. Отобранные пробы растений высушивались в полевых условиях, измельчались и упаковывались в крафтовые пакеты. В лабораторных условиях пробы озолялись в муфельной печи при температуре 500°С в корундовых тиглях до состояния белой золы. Время полного озоления пробы – 2,5 часа.

Отобрано и проанализировано 134 биогеохимические пробы. Определение содержаний химических элементов в золе растений производилось количественным атомно-абсорбционным методом в лаборатории химического анализа АмурКНИИ ДВО РАН.

Результаты исследований

Определение основных статистических параметров распределения элементов в выборках проб золы растений было выполнено в программе Excel. Результаты приведены в таблице.

Распределение химических элементов в золе растений участка ручья Мал. Алкаган

Элемент	Объект*	N	Содержание, г/т			Статистические параметры				КК ₀
			X _{min}	X _{max}	X _{сред.} (С _{фон})	S	A	Э	ν%	
Au	1	107	0,050	4,860	0,321±0,090	0,47	0,38	-0,14	78	160,50
	2	17	0,060	10,470	0,469±0,230	0,60	0,65	0,65	45	234,50
	3	7	0,120	1,680	0,60±0,399	0,53	1,68	3,53	88	300,00
Ag	1	106	0,060	137,640	0,630±0,120	0,61	0,94	1,85	97	10,50
	2	17	0,060	9,360	0,417±0,330	0,67	0,43	-0,61	52	6,95
	3	6	0,150	63,00	1,070±0,720	1,77	1,19	-0,23	90	17,83
Cu	1	104	18,0	99,0	69,0±2,43	12,40	-0,26	2,03	18	0,35
	2	18	85,0	140,0	106,0±7,90	16,77	0,90	-0,05	16	0,53
	3	8	100,0	290,0	147,0±41,20	58,31	2,19	-1,89	40	0,74
Zn	1	107	1200	7700	2868±225,5	1166,0	1,51	3,95	41	3,19
	2	18	1400	4500	3156±385,0	816,20	-0,18	-0,15	26	3,51
	3	9	2300	4700	3667±656,0	984,0	-0,53	-1,53	27	4,07
Ni	1	106	10,0	96,0	29,0±4,62	23,79	1,30	0,80	82	0,58
	2	18	10,0	95,0	39,0±12,03	25,50	0,78	-0,06	65	0,78
	3	9	10,0	110,0	63,0±17,94	26,91	-0,40	2,05	43	1,26
Co	1	106	10,0	54,0	17,0±2,27	11,70	1,71	2,21	69	1,13
	2	18	10,0	42,0	19,0±5,26	10,83	0,75	-0,82	14	1,27

	3	9	10,0	40,0	20,0±7,51	11,27	0,77	-0,61	56	1,33
Cr	1	106	10,0	120,0	35,0±5,12	26,36	1,11	0,59	75	0,14
	2	17	10,0	130,0	43,0±18,60	38,38	1,22	0,15	89	0,17
	3	9	10,0	92,0	43,0±16,70	24,99	0,99	0,80	58	0,17
Mn	1	92	3200	38400	22600±1400	6700	0,45	0,41	30	3,01
	2	16	8200	15800	11400±1100	2229	0,30	-0,42	19	1,52
	3	7	15200	48400	25600±9600	12700	1,22	0,24	50	3,41

Примечание. * – объекты опробования: 1 – ива черниковидная, 2 – ива коротконожковая, 3 – береза кустарниковая.

Установлено, что распределение значений содержаний Au (0,05-10,47 г/т) и Ag (0,06-137,64 г/т) в пробах золы растений, отобранных в долине руч. Мал. Алкаган, подчиняется логнормальному закону, а Cu (18-99 г/т, $x_{\text{сред}}=69\pm 2,43$ г/т), Zn (0,12-0,77 %, $x_{\text{сред}}=0,29\pm 0,02$ %), Ni (10-96 г/т, $x_{\text{сред}}=29\pm 4,62$ г/т), Co (10-54 г/т, $x_{\text{сред}}=17\pm 2,27$ г/т), Cr (10-120 г/т, $x_{\text{сред}}=35\pm 5,12$ г/т), Mn (0,32-3,8 %, $x_{\text{сред}}=2,26\pm 0,14$ %) – нормальному закону.

Фоновые значения (C_{ϕ}) рассчитаны как антилогарифмы среднего арифметического логарифмов содержаний по формуле:

$$C_{\phi} = \text{antlg}(\lg C - x)$$

и составили: Au – 0,343 г/т (n=109), Ag – 0,590 г/т (n=108).

Нижние аномальные (C_a) значения содержаний рассчитаны по формуле, согласно [2]:

$$C_a = C_{\phi} + S_{lg}$$

где S_{lg} – среднее квадратическое логарифмов содержаний (корень квадратный из дисперсии). Они составили: Au – 0,793 г/т, Ag – 1,243 г/т (при m=9).

Фоновые содержания золота в биогеохимических пробах превышают средний (кларковый) уровень содержаний золота в золе наземной растительности в 160-300 раз, фоновые содержания серебра превышают кларковый уровень приблизительно в 10-20 раз [1]. Средние (фоновые) содержания Ni и Co варьируют на уровне кларковых; Cu и Cr – ниже кларковых; Zn и Mn – выше кларковых в 2-4 раза.

Анализ корреляционных связей элементов по выборке, состоящей из 108 проб, выявил значимую положительную корреляцию в распределении золота и серебра в золе растений на участке Мал. Алкаган. Парный коэффициент корреляции между Au и Ag составил +0,56 [7].

Для характеристики выявленных биогеохимических аномалий рассчитаны коэффициенты концентрации (K_c), равные отношению содержания элемента в пределах аномалий к его фоновому содержанию.

В результате проведенной работы в пределах долины ручья Мал. Алкаган, в среднем и нижнем течении, выявлена и околонуена серия контрастных комплексных биогеохимических вторичных ореолов золота и серебра. В среднем течении расположены три ореола Au и Ag с коэффициентами концентрации $K_{c_{Au}} = 2-7$, $K_{c_{Ag}} = 2-51$; в нижнем течении – комплексный ореол Au и Ag ($K_{c_{Au}} = 2-13$, $K_{c_{Ag}} = 2-46$).

Биогеохимический ореол, расположенный в среднем течении ручья на правом борту долины, имеет вид выклинивающегося к руслу потока рассеяния протяженностью более 600 м и шириной 100-50 м. Он зафиксирован тремя профилями и 10 аномальными точками с содержанием Au – 1,05-4,50 г/т ($x_{\text{сред}} = 2,91$ г/т) и Ag 1,32-63,00 г/т ($x_{\text{сред}} = 10,75$ г/т). Ореол расположен над дайкой окварцованных гранодиорит-порфиров северо-западного простирания.

Два других биогеохимических ореола расположены на правобережье в прирусловой части долины и имеют параметры 250×100 м. Ореолы отмечены на двух профилях и 5 аномальных точках с содержанием Au 1,08–5,16 г/т ($x_{\text{сред}} = 2,76$ г/т) и Ag 1,32–9,84 г/т ($x_{\text{сред}} = 6,84$ г/т). Они фиксируют россыпь золота, по которой подсчитаны прогнозные ресурсы категории P₁.

В нижнем течении ручья на противоположных бортах долины расположен контрастный биогеохимический ореол, который определяет положение дайки окварцованных гранодиорит-

порфиров северо-восточного простирания. Содержания золота в 7 пробах золы растений составило 1,14-10,47 г/т ($x_{\text{сред}} = 3,95$ г/т); серебра – 2,04-57,12 г/т ($x_{\text{сред}} = 23,52$ г/т).

Биогеохимические ореолы Ag конформны эпицентрам максимальных содержаний Au, отличаются большей контрастностью и большей локальностью.

Согласно геометрии выявленных биогеохимических ореолов золота и серебра обосновано существование двух типов их источников: рудного и россыпного. Рудный облик, невысокая проба золота в рыхлых отложениях, слабый снос рудного материала указывают на близость россыпей к коренному источнику. Одним из источников биогеохимических аномалий золота и серебра служат небольшие интрузивные тела гранодиоритового и гранитового состава с золотоносным прожилковым окварцеванием.

Примером является биогеохимический профиль по буровой линии № 12 (рис. 2). По данным разведки, содержания свободного золота на массу песков в скважинах составили не более 1-30 мг/м³. Содержания золота в биогеохимических пробах достигают более 10 г/т, серебра – более 60 г/т.

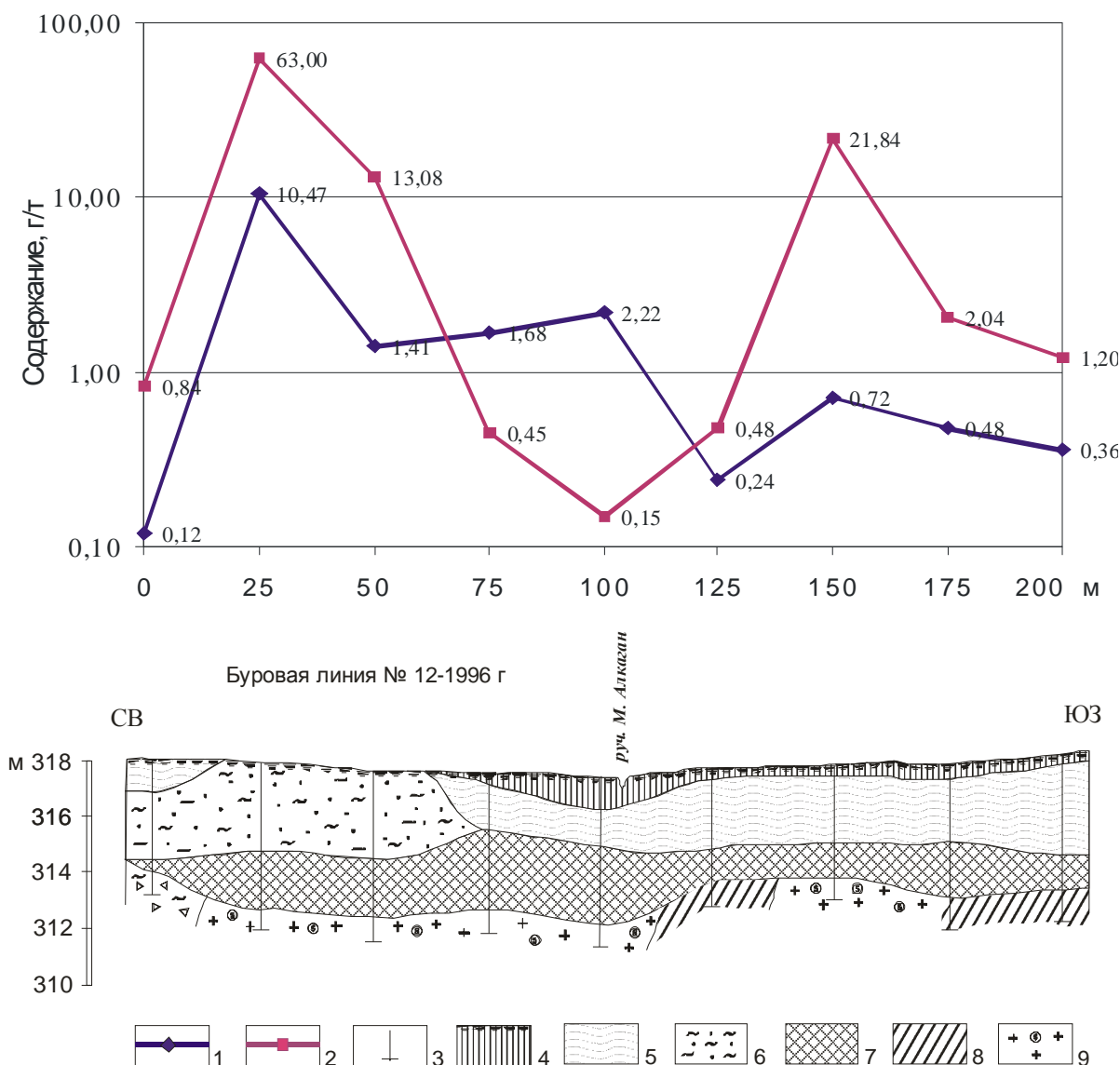


Рис. 2. Распределение золота и серебра в золе растений по биогеохимическому профилю над интрузивными образованиями долины ручья Мал. Алкаган:

- 1 – Au; 2 – Ag; 3 – буровые скважины; 4 – почвенно-растительно-торфяной слой;
- 5 – средне-верхнечетвертичные аллювиальные пески, галечники, гравийники, глины;

- 6 – современные аллювиальные пески, галечники, глины; 7 – верхнечетвертичные аллювиальные пески, галечники с валунами; 8 – верхнеюрские песчаники, алевролиты, аргиллиты; 9 – окварцованные дайки гранит-порфиров.

Пики содержаний благородных металлов наблюдаются над дайками окварцованных гранит-порфиров на флангах профиля. Следовательно, выявленные контрастные биогеохимические аномалии Au и Ag могут служить поисковым критерием золотой минерализации в коренном залегании.

Высокие содержания золота и серебра в золе растений, отобранных по биогеохимическому профилю вдоль буровой линии № 24, определяют местоположение другого источника биогеохимических аномалий – золотоносного пласта разведанной россыпи на глубине 3,5-4 м (рис. 1). Пики аномалий золота и серебра сопряжены между собой. Полученные результаты свидетельствуют, что формы Au и Ag в данных условиях среды подвижны и интенсивно поглощаются опробованными видами растений по безбарьерному типу.

Золото подвижно и доступно для растений в условиях многолетней мерзлоты [6]. При периодическом промерзании и оттаивании Au переходит в раствор и приобретает повышенную биофильность. В анаэробных условиях Au мигрирует в виде иона AuS^- , а также в виде растворимых золотоорганических фульфокомплексов [5]. Серебро мобилизуется в подвижные комплексы Ag^+ , Ag^{2+} и другие при $pH < 4$ [3], а также растворяется при взаимодействии с фульвокислотами, которыми насыщены торфяно-глеевые и болотные почвы.

Заключение

В результате опытно-методических биогеохимических исследований на участке долины ручья Мал. Алкаган сделаны следующие выводы: 1) аллювиальные россыпи и их коренные источники в пределах элювиально-супераквального закрытого ландшафта сопровождаются контрастными биогеохимическими аномалиями Au и Ag; 2) контрастность биогеохимических аномалий Au над их коренными источниками превышает контрастность аномалий Au над россыпями; 3) количественно информативными биогеохимическими индикаторами золотоносности на заболоченных участках речных долин и падей, нижних частях склонов могут являться: ива черниковидная и коротконожковая, заросли кустарниковых берез.

Автор глубоко признателен канд. хим. наук В.И. Радомской, канд. геол.-минер. наук С.М. Радомскому, Н.А. Бородиной и Н.Н. Козловой за большой объем выполненных аналитических исследований; коллеге по комплексным научным исследованиям канд. геол.-минер. наук М.Ю. Ровнушкину за непосредственное участие в экспедиционных работах; д-ру геол.-минер. наук, проф. В.А. Степанову за ряд ценных замечаний при обсуждении основных положений рукописи статьи.

1. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник: В 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. – Кн. 5: Редкие d-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.

2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

3. Кабата-Пендиас, А., Пендиас, Г. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

4. Ковалевский, А.Л. Выбор объектов опробования растений при биогеохимических поисках серебра // Отечественная геология. – 2002. – № 3. – С. 47-54.

5. Миллер, А.Д., Фишер, Э.И., Фишер, В.Л. Исследование взаимодействия гумусовых кислот с золотом в связи с образованием вторичных ореолов и анализом проб / Зап. Забайкальского филиала Географ. общ-ва

СССР. – Вып. 88. – Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. – Чита, 1973. – С. 43-46.

6. Тайсаев, Т.Т. Геохимия таежно-мерзлотных ландшафтов и поиски рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1981. – 137 с.

7. Юсупов, Д.В. Опыт выявления биогеохимических аномалий золота и серебра на россыпном месторождении Тыгда-Улунгинского золотоносного узла // Молодежь XXI века: шаг в будущее: Сб. трудов III региональной науч.-практ. конф. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002. – С. 201-202.