

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ ЛАНДШАФТОВ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

В.И. Радомская, С.М. Радомский, В.Г. Моисеенко

Институт геологии и природопользования ДВО РАН

675000, г. Благовещенск, Речной пер., 1

E-mail: radomskaya@front.ru

Поступила в редакцию 4 декабря 2007 г.

Изучено содержание благородных металлов в растительности трех типов территорий: на территории хвостохранилища действующей шлихообогатительной установки (искусственно обогащенный объект), на рудопроявлении золота Звездочка (естественно рудный объект) и на южных фоновых участках, не охваченных золотодобычей, районов Амурской области. Установлены различия в накоплении благородных металлов различными видами растений в пределах одного места произрастания. Отмечена неэффективность использования травы укоса в качестве основных объектов опробования при биогеохимических поисках благородных металлов.

Ключевые слова: *благородные металлы, биологическое поглощение, растительность, Верхнее Приамурье.*

ACCUMULATION PECULIARITIES OF NOBLE METALS BY THE PLANTS IN UPPER PRIAMURYE

V.I. Radomskaya, S.M. Radomskii, V.G. Moiseyenko

Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS

Contents of noble metals in vegetation growing on the territories of three types: a tailing dump of the concentrating mill (a man-made object), the ore manifestation Zvyezdochka (natural ore object) and southern background areas of the Amur region, not involved in gold-mining, were studied. Differences in accumulation of noble metals by various species of plants within one site of vegetation were determined. Inefficiency of using mowed grasses as main objects of sampling at biogeochemical search of noble metals was noted.

Key words: *noble metals, biological absorbtion, vegetation, Upper Priamurye.*

Верхнее Приамурье, регион восточной Азии, уникальный своим структурно-тектоническим положением, находится в пределах Монголо-Охотской ветви Тихоокеанского рудного пояса. Такое положение определило своеобразие его металлогении, формирование различных генетических типов минерализации. Ведущим, «сквозным» элементом для Приамурья является золото. Месторождения золота, золотоносные и платиноносные площади обособлены в 46 золотоносных и 7 потенциально платиноносных рудно-россыпных узлах, занимающих 45 % территории региона [Моисеенко, Эйриш, 1996]. Основные золотороссыпные площади располагаются в пределах орогенных областей, а также вдоль периферии Амуро-Зейской равнины, охватывая разновысотные ландшафты.

Районы традиционной золотодобычи в Амурской области – Тындинский, Зейский, Селемджинский, Сковородинский, Магдагачинский, Мазановский. Прямые признаки платиновой минерализации устанавливались при изучении и эксплуатации золоторудных месторождений и россыпей. К числу таких признаков относится: частое присутствие в золотоносных россыпях платины и минералов, содержащих платиноиды; геохимические аномалии металлов платиновой группы в базитах и стратифицированных осадочных отложениях разных эпох; почти постоянная, нередко высокая, примесь платины в золоте и в других минералах из месторождений различных генетических типов.

Преобладающими способами добычи золота являются различные варианты гравитаци-

Объекты и методы

онного обогащения, при которых извлекаются в основном золотины размерами превышающими 0,1 мм, тогда как мелкодисперсные частицы благородных минералов рассеиваются в окружающем пространстве и далее появляются в различных природных объектах, нередко находящихся на значительном удалении от разрабатываемого ареала. Растения, как центральное звено биосферы, играют исключительную роль в биогенной миграции химических элементов. Биогеохимия благородных металлов является практически белым пятном и фактически находится в состоянии сбора достоверных данных в отдельных районах [Иванов, 1997]. Надежные аналитические данные о содержании в растениях платиноидов отрывочны и касаются, как правило, повышенных и высоких содержаний. Максимальные концентрации Pt и Pd в золе растений имеют величины одного порядка с их содержанием в платиноидоносных горных породах и рудах [Dunn, 1995; Ковалевский и др., 2002], достигая $1\text{--}30\cdot 10^{-4}\%$ для Pt и $1\text{--}15\cdot 10^{-4}\%$ для Pd.

Выявление растений с безбарьерным и высокобарьерным типом накопления металлов имеет важное практическое значение в целях биомониторинга окружающей среды и при поисках соответствующих месторождений. Для благородных металлов такие растения малоизвестны и требуются специальные исследования. По данным А.Л. Ковалевского [Ковалевский, 1993; Ковалевский и др., 2002] безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к высоким концентрациям платиноидов являются внешние слои корки стволов и пней сосны обыкновенной и березы плосколистной в ландшафтах южной тайги Забайкалья. А.Л. Ковалевский изучил биогенное минералообразование в растениях и установил микробиолиты Au, Pt и других металлов платиновой группы (размер 2–20 мкм) в старых частях растений и корнях; в ветвях и других наземных частях они более мелкие ($< 0,2\text{--}2$ мкм); в листьях не обнаружены.

На территории Верхнего Приамурья исследования, освещающие особенности биогеохимического круговорота благородных металлов, проводились только по золоту. Целью настоящей работы является установление особенностей биологического поглощения благородных металлов растениями Приамурья, выявлению наиболее информативных для благородных металлов видов-концентраторов.

Было выбрано три типа территорий: первый тип – это искусственно обогащенный объект. Экспериментальные исследования проведены авторами в пределах Соловьевского золото-платиноносного рудно-россыпного узла, на территории хвостохранилища, прилегающего к действующей шлихообогатительной установке (ШОУ). Второй – естественно-рудный объект, территория рудопроявления золота Звездочка. Третий тип территорий – нерудные, южные районы Амурской области, расположенные в пределах Амура-Зейско-Буреинской равнины. Для исследования были выбраны участки около населенных пунктов: Волково, Отважное, Красноярово, Нижние Бузули.

Объектом исследования явились почвы, растительность и укусы растений, отобранные на изучаемых территориях. Отобранные пробы зеленой массы были очищены от внешних загрязнителей и примесей вымыты водой и высушены до воздушно сухого состояния. Высушенную пробу гомогенизировали, квартовали, далее из пробы отбирали две параллельные навески. Минерализацию растительных проб проводили по методике [ГОСТ..., 1986]. Количественное определение содержания благородных металлов в почве и в озоленных при 450°C растениях было проведено атомно-абсорбционным методом [Радомский, 2000]. Для определения платиноидов образцы подвергались предварительной пробирной плавке и концентрированию на никелевый штейн при 1000°C с последующим разрушением и отделением никелевой основы штейна соляной кислотой и экстракцией платины и палладия смесью ди-2-этилгексилдитиофосфорной кислоты и алкиланилина в толуоле. Определение осмия и рутения проводили кинетическим методом из растворов, полученных после сплавления нерастворимого остатка никелевого штейна.

На основе данных анализов рассчитывали: коэффициент биологического поглощения (КБП), как отношение среднего содержания элемента в золе растений к его кларку в литосфере (по [Алексеев, 2000]); растительно-почвенный коэффициент (РПК), как отношение содержания элемента в золе растения к его среднему содержанию в почве, на которой оно растет; и биогеохимическую активность вида (БХА) – суммарную величину, получающуюся при сложении коэффициентов биологического поглощения (КБП или РПК) отдельных элементов.

Результаты и обсуждение

На Соловьевской ШОУ, используя методы гравитационного обогащения, извлекают золото из концентрата тяжелых минералов (шлиха), который доставляется со всех дражных полигонов прииска. Этот процесс является, как известно, низкокэффективным, поскольку не позволяет извлекать мелкие и тонкодисперсные классы золота в поле гравитационных сил. В подобных случаях происходят значительные (до 50 %) потери благородного металла. Технологический процесс на ШОУ не нацелен на извлечение минералов элементов платиновой группы из золотосодержащих концентратов из-за их низких содержаний. Они рассматриваются как примесь и уходят в хвосты совместно с фракцией тяжелых минералов.

Концентрация тяжелых минералов в отходах ШОУ варьирует от 10-20 до 200 кг/т. Минералогический анализ отходов ШОУ показал, что они состоят, главным образом из магнетита (5,97 %), мартита (1,51 %) и ильменита (2,10 %). Отмечены гематит (0,25 %), гранат (0,71 %), циркон (0,58 %), пирит (0,11 %), эпидот (0,13 %). В отдельных пробах встречаются знаки самородной платины и сперрилита. Во всех пробах были обнаружены обломки пород, шлак, уголь, полевые шпаты, кварц, глинистые минералы и гумус.

Отходы удаляют с места переработки в отвал, разравнивают и перемешивают с почвой и грунтом. При изучении техногенных отвалов ШОУ были пройдены 9 шурфов. Шурфы были опробованы по стенке бороздовым способом секциями по 0,2 м. Мощность слоя техногенных отвалов меняется в пределах изученной площади от 0,4 м в юго-западной части до 1,2-2,0 м в восточной части поля. Средняя мощность техногенного слоя составляет 1,14 м. Разрез отвалов, вскрытых шурфами, достаточно однотипен. В верхнем слое – почва, песчано-щебнистая масса с высоким содержанием рудных минералов (отходы гравитационного обогащения шлихового концентрата), шлак, зола. Нижняя часть разреза представлена плотной желтой глиной со щебнем и валунами, слагающей пойменную фацию аллювиальных отложений надпойменной террасы р. Джалинда и являющейся «материнской» породой с ненарушенным залеганием.

Для изучения распределения благородных металлов нами были проанализированы

бороздовые пробы шурфов. Золото распределено крайне неравномерно. Содержание золота колеблется в пределах 0,05-60,2 г/т. Наиболее высокие содержания золота определены в пробах из шурфов, пройденных вблизи ограды ШОУ: 7 г/т (шурф № 1, горизонт 1,0-1,2 м), 20 г/т (шурф № 6, нижний горизонт 1,4-1,6 м), максимальное содержание золота отмечено в верхнем горизонте шурфа № 3 – 60,2 г/т. По глубине вертикальных разрезов содержание золота падает до 0,50-4,00 г/т (за исключением шурфа № 6). Концентрация Pt в изученных образцах варьировалась от 0,09 до 0,96 г/т, Ru – от 0,0014 до 0,074 г/т, Os – от 0,005 до 0,018 г/т, Pd – от 0,004 до 0,026 г/т. Содержание Ir и Rh не превышали порога чувствительности анализа, поэтому в дальнейшем не рассматривались. Как и золото, платина, палладий, рутений имеют тенденцию к снижению содержания вниз по разрезу техногенных отложений. Средняя концентрация благородных металлов по литологическому профилям составила: золота – 13,82±2,64 г/т, серебра – 3,40 ±0,70г/т, осмия – 0,0080 ±0,0017 г/т, платины – 0,34±0,14г/т, палладия – 0,015±0,004 г/т, рутения – 0,036 ±0,011 г/т.

Анализ полученных данных и оценка содержания благородных металлов на территории ШОУ позволяют сделать вывод, что техногенные отложения обогащены благородными металлами, главным образом, золотом. Присутствуют в них платина, рутений, осмий в виде минералов элементов платиновой группы.

По результатам исследований, хвостохранилище техногенного отвала Соловьевского ШОУ было выбрано нами для детальных биогеохимических исследований как экспериментальный полигон с экстремальными для живых организмов геохимическими условиями. Растительный покров был крайне разрежен и составлял не более 1 % площади отвала. Содержание благородных металлов в золе растений, произрастающих на отвалах ШОУ прииска Соловьевский, приведены в табл. 1.

Золото. Средний уровень содержания золота в растениях аномально высок и составляет 2,16 г/т. Отмечены максимальные содержания золота в золе клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) – 11,6 г/т, лапчатки гусиной (*Potentilla anserina* L.), одуванчика обыкновенного (*Taraxacum vulgare* L.) – 3,05 г/т. Концентрации золота в указанных видах соизмерима с промышленным содержанием этого благородного металла в руде. Таким образом, полученные

Содержание благородных металлов в золе растений,
произрастающих на отвалах ШОУ прииска Соловьевский

Образец	Зольность, %	Массовая доля, г/т					
		Ag	Au	Pt	Pd	Ru	Os
Скерда кровельная (<i>Crepis tectorum</i> L.)	12,70	0,13	1,25	<0,50	0,084	0,42	0,28
Крапива (<i>Urtica angustifolia</i> Fish. ex Hornem.)	9,70	0,052	0,49	<0,30	<0,020	0,43	0,097
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	14,60	0,42	11,61	0,27	<0,020	1,28	0,076
Ива (<i>Salix</i> sp.)	7,50	0,048	0,31	<0,40	0,034	0,60	0,064
Одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum vulgare</i> L.)	10,90	0,12	3,05	0,21	0,034	0,69	0,067
Лебеда (<i>Atriplex patulum</i> L.)	10,20	0,014	0,11	<0,20	0,028	0,44	0,062
Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.)	18,50	0,032	0,13	<0,30	<0,020	0,18	0,20
Жабрей (<i>Galeopsis</i> sp.)	14,12	0,10	0,29	<0,20	0,039	0,14	0,074
Зверобой утонченный (<i>Hypericum attenuatum</i> Choisy)	4,10	0,25	1,32	<0,70	<0,060	1,76	0,20
Лапчатка гусиная (<i>Potentilla anserina</i> L.)	10,01	0,19	4,40	<0,30	0,041	0,32	0,079
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	12,20	0,14	0,76	<0,20	0,020	0,47	0,071

данные подтверждают, что золото – биологически доступный элемент. Из всей группы благородных металлов он единственный обладает столь сильными биофильными свойствами.

Серебро. Содержание серебра в растениях, произрастающих в пределах хвостохранилища и вокруг него, не превышает 0,42 г/т. Среднее содержание серебра в золе растений составляет 0,14 г/т. Серебро является сильным токсикантом для растений, при высоких его концентрациях в почве у растений в определенный момент наступает порог поглощения из-за нарушения проницаемости клеточных мембран [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Содержание Ag в техногенных отложениях гораздо выше, в среднем 3,40 г/т.

Платина. Большая часть определений содержания платины дало значения ниже предела чувствительности анализа. Два определения анализа показали количественное содержание на уровне 0,27 г/т (клевер ползучий) и 0,21 г/т (одуванчик обыкновенный) при кларке Pt в растениях $5 \cdot 10^{-10} \%$ [Алексеев, 2000]. Примеры определений содержания Pt в растениях исключительно редки в литературе. Полученные нами концентрации согласуются с данными А.Л. Ковалевского [Ковалевский и др., 1998].

Палладий. В растениях содержание Pd на порядок ниже, чем Pt – 0,02–0,084 г/т. Средний

уровень содержания Pd – 0,04 г/т. Однако, растительно-почвенный коэффициент – РПК Pd выше, чем для платины (табл. 2), что свидетельствует о большей подвижности Pd по сравнению с Pt. Растворимые формы палладия легко поглощаются растениями. Этот металл отличается слабой токсичностью и проявляет мобильность в круговороте органических веществ [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Рутений. Рутений в кислых почвах подвижен и относительно доступен для растений. Концентрации Ru в золе растений достигают 1,28 г/т (клевер ползучий) и 1,76 г/т (зверобой утонченный – *Hypericum attenuatum* Choisy). Среднее содержание Ru в золе растений составляет – 0,61 г/т (кларк в растениях – $5 \cdot 10^{-9} \%$).

Осмий. Известно, что осмий является инертным металлом, однако, к нетипичным его свойствам относятся активное взаимодействие с кислородом и разнообразие состояний окисления в соединениях. Следует отметить высокую миграционную активность тетраоксида осмия OsO₄. Кроме того, осмий проявляет устойчивую в природных условиях наибольшую степень валентности среди благородных металлов: серебро (+1)–золото (+3)–платина, палладий (+4)–рутений (+5)–осмий (+8) [Юшко-Захарова и др., 1986]. Концентрация Os в золе растений колеблется в интервале 0,062–0,28 г/т.

Биогеохимические показатели поглощения благородных металлов растениями на отвалах ШОУ Соловьевского прииска

Образец		Рассчитанный коэффициент						БХА (КБП)
		Ag	Au	Pt	Pd	Os	Ru	
Скерда кровельная	КБП	1,9	290,7	—	8,4	5,6	84,0	390,6
	РПК	0,030	0,090	—	5,6	34,4	11,7	
Крапива	КБП	0,74	114,0	—	—	1,9	86,0	202,6
	РПК	0,015	0,035	—	—	12,1	11,9	
Клевер ползучий	КБП	6,0	2700,0	54,0	—	1,5	256,0	3017,5
	РПК	0,12	0,84	0,79	—	9,5	35,6	
Ива	КБП	0,69	72,1	—	3,4	1,3	120,0	197,5
	РПК	0,014	0,022	—	2,3	8,0	16,7	
Одуванчик обыкновенный	КБП	1,7	709,3	42,0	3,4	1,3	138,0	895,8
	РПК	0,035	0,22	0,62	2,3	8,4	19,2	
Лебеда	КБП	0,20	25,6	—	2,8	1,2	88,0	117,8
	РПК	0,0041	0,0080	—	1,9	7,8	12,2	
Хвощ полевой	КБП	0,46	30,2	—	—	4,0	36,0	70,7
	РПК	0,0094	0,0094	—	—	25,0	5,0	
Жабрей	КБП	1,4	67,4	—	3,9	1,5	28,0	102,3
	РПК	0,029	0,021	—	2,6	9,3	3,9	
Зверобой утонченный	КБП	3,6	307,0	—	—	4,0	352,0	666,6
	РПК	0,074	0,096	—	—	25,0	48,9	
Лапчатка гусиная	КБП	2,7	1023,3	—	4,1	1,6	64,0	1095,6
	РПК	0,056	0,32	—	2,7	9,9	8,9	
Полынь обыкновенная	КБП	2,0	176,7	—	2,0	1,4	94,0	276,2
	РПК	0,042	0,055	—	1,3	8,9	13,1	

Максимальное содержание Os отмечено у скерды кровельной (*Crepis tectorum* L.).

На основе приведенных в табл. 1 данных рассчитаны: коэффициент биологического поглощения (КБП); растительно-почвенный коэффициент (РПК) и биогеохимическая активность вида (БХА) (табл. 2) Комбинации рассчитанных биогеохимических показателей сведены нами к трем вариантам: КБП > РПК; РПК > КБП; РПК ≈ КБП. Для Au, Ag, Pt установлен первый вариант соотношений коэффициентов биологического поглощения, когда КБП > РПК, поскольку содержания этих элементов в почвогрунте ($13,82 \cdot 10^{-4} \%$, $3,40 \cdot 10^{-4} \%$, $0,34 \cdot 10^{-4} \%$, соответственно) на два-три порядка превышают кларковый уровень. Это тот случай, когда действует правило, установленное Б.Б. Полюновым [1947]: чем выше содержание элемента в породе при прочих равных условиях, тем меньше относительная величина поглощаемой части. Поэтому в ландшафтных условиях с резко повышенным фоном ряда элементов, и тем более в техногенных, расчета одного лишь РПК недостаточно для выявления полной картины их биогенной миграции.

Содержание золота в растительности зоны влияния ШОУ приблизительно на порядок

ниже, чем в почве – РПК = 0,16. Из работ А.Л. Ковалевского [1974] известно, что степень биоаккумуляции золота растениями, при прочих условиях, напрямую зависит от формы содержания и размера выделений золота в субстрате. Наибольшая степень биоаккумуляции золота наблюдается для дисперсных форм в глинах и сульфидах (РПК = $10n-n$), на порядок ниже она для мелкого самородного золота (РПК=0,n), еще на два-три порядка ниже для среднего и крупного самородного золота (РПК=0,0n-0,00n). В нашем случае значение РПК 0,n полностью подтверждает этот тезис, потому что основное количество золота в техногенных отложениях ШОУ содержится в самородной форме, главным образом в виде мелкой и тонкой фракций.

Расчет КБП позволил установить два вида растений-концентраторов золота (табл. 2): клевер ползучий (*Trifolium repens* L.) и лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.). Золото и платина в условиях местного техногенного ландшафта являются элементами энергичного и сильного накопления (по КБП). Растения избирательно концентрируют вышеназванные элементы. Так, если по отношению к золоту и платине они проявляют толерантность, то в отношении серебра среднюю и слабую способность

накопления, переходящую в группу захвата (табл. 3). По этой группе элементов следует вывод: значительная разница между коэффициентами (КБП > РПК) устанавливается при исследовании ландшафтов, где местные кларки элементов значительно превышают их содержания в литосфере, что в природных условиях типично для рудных районов и месторождений благородных металлов.

Второй вариант: РПК > КБП рассмотрен на примере распределения в растениях осмия. Превышение величины РПК над КБП свидетельствует о том, что концентрация осмия в местных отложениях ниже, чем в литосфере ($0,8 \cdot 10^{-6} \%$ и $5 \cdot 10^{-6} \%$, соответственно). Растительно-почвенный коэффициент для всех видов опробованных растений по величине превосходит КБП. В рядах биологического поглощения растений, составленных по РПК, Os наряду с Ru, занимает первое место и относится к сильно накапливаемым элементам (табл. 3). Максимальный растительно-почвенный коэффициент осмия отмечен у скерды кровельной (*Crepis tectorum* L.) – 34,5.

Третий вариант, когда коэффициенты КБП и РПК имеют приблизительно один порядок значений (Ru, Pd). Для рутения и палладия это обусловлено тем, что их содержание в техногенных отложениях близко к кларковым концентрациям в литосфере. По полученным данным, рутений – элемент энергичного и сильного накопления, палладий – среднего накопления. Биогеохимическими индикаторами на рутений, согласно результатам исследований, могут служить: зверобой утонченный (*Hypericum attenuatum* Choisy), клевер ползучий (*Trifolium*

repens L.) и одуванчик обыкновенный (*Taraxacum vulgare* L.).

Количественным выражением общей способности отдельных видов к концентрации благородных металлов служит показатель – биогеохимическая активность вида (БХА). Анализ БХА растений, произрастающих на техногенных отвалах, рассчитанный на основе КБП, показал (табл. 2), что наибольшая биологическая активность в отношении благородных металлов характерна для клевера ползучего (*Trifolium repens* L.); повышенная – для лапчатки гусиной (*Potentilla anserina* L.), одуванчика обыкновенного (*Taraxacum vulgare* L.); средняя – для зверобоя утонченного (*Hypericum attenuatum* Choisy) и скерды кровельной (*Crepis tectorum* L.). Пониженную активность к поглощению благородных металлов проявляют хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) и жабрей (*Galeopsis* sp.).

На основании проведенных исследований, установлено, что различные виды растений в сходных геохимических условиях обладают различными свойствами избирательного накопления благородных металлов. На наличие этого феномена впервые указал В.И. Вернадский в 1922 г. В последующем об этом сообщалось Б.Б. Полюновым, Д.П. Малюгой, Г.В. Войткевичем и др.

С целью изучения особенностей биологического поглощения благородных металлов в растительности были проанализированы укусы фитомассы, отобранные на участках в южных, не охваченных золотодобычей районах Амурской области, населенные пункты: Волково, Отважное. Краснояррово, Нижние Бузули, а также на рудопроявлении Звездочка (табл. 4).

Таблица 3
Сравнительная оценка рядов биологического поглощения благородных металлов, составленных по КБП и РПК

Показатель	Ряды биологического поглощения							
	1000n	100n	10n	n	0.n	0.0n		0.00n
КБП	Au ₂ **	Au ₅	Au ₄	Ag ₇	Ag ₄			
			Pt ₂	Pd ₇				
		Ru ₄	Ru ₇	Os ₁₁				
РПК				Pd ₇	Au ₃	Au ₆		Au ₂
			Os ₄	Os ₇	Ag ₁	Ag ₈		Ag ₂
			Ru ₈	Ru ₃	Pt ₂			

Примечание. ** Au₂ – индекс элемента с указанием количества видов растений, принадлежащих к данной группе биологического поглощения. Группа I (1000n) и группа II (100n) – элементы энергичного накопления; группа III (10n) – элементы сильного накопления; группа IV (n) – элементы среднего накопления; группа V (0,n) – элементы слабого накопления и среднего захвата; группа VI (0,0n) – элементы слабого захвата; группа VII (0,00n) – элементы очень слабого захвата.

Среднее содержание благородных металлов в золе травы укоса

Место отбора	Массовая доля, г/т					
	Ag	Au	Pt	Pd	Ru	Os
Волково (n = 4)	1,00±0,25	0,11±0,04	< 0,03	< 0,002	0,018±0,006	0,010±0,003
Отважное (n = 13)	0,55±0,11	0,13±0,03	< 0,03	< 0,002	0,015±0,004	0,019±0,004
Красноярво (n = 12)	0,14±0,04	0,046±0,04	< 0,03	< 0,002	0,013±0,003	0,013±0,004
Нижние Бузули (n = 19)	0,48±0,12	0,077±0,19	< 0,03	< 0,002	0,014±0,003	0,016±0,003
Звездочка (n = 6)	0,58±0,16	0,37±0,11	0,18±0,06	0,050±0,012	не опр.	не опр.

Примечание. n – количество анализов, использованных для вычисления среднего содержания благородных металлов.

Почвообразующими породами Амуро-Зейско-Буреинской равнины являются третичные песчано-галечниковые отложения, четвертичные глинистые отложения озерно-речного происхождения и современные аллювиальные отложения. Своеобразные геоморфологические и биоклиматические условия определили сложность почвенного покрова Амуро-Зейско-Буреинской равнины.

Климат Приамурья определяется как муссонный по характеру формирования и континентальный по температурным условиям. Зима холодная и малоснежная. Среднемесячная температура воздуха в январе составляет от $-26,6^{\circ}\text{C}$ до $-28,8^{\circ}\text{C}$. Количество зимних осадков составляет 3-4 % от их годовой суммы. Высота снежного покрова колеблется от 12 до 24 см. Весна, как правило, сухая, прохладная, в это время нередко наблюдаются засухи. Лето влажное и теплое. Среднемесячная температура июля составляет $20-21^{\circ}\text{C}$. Наибольший дефицит влаги отмечается обычно в июне-первой половине июля. С июля по сентябрь выпадает около 80 % годового количества осадков. В зимний период вследствие низких температур и маломощного снежного покрова почвы промерзают до 2,5-3 м. Весной оттаивание почвы происходит медленно. В Приамурье почва полностью оттаивает только к концу июля. В результате обильных осадков в легнее время почвы сильно переувлажняются. Перенасыщение водой почвенного профиля способствует усилению глеевого процесса. На породах тяжелого механического состава формируются почвы с резко выраженным осветленным горизонтом. Осветленный горизонт обычно имеет плотное сложение, что еще

более затрудняет просачивание влаги в нижние слои. Он также препятствует передвижению влаги из нижних горизонтов к поверхности в весенний засушливый период [Голов, 2001].

Почвы участков в окрестностях Волково, Красноярво – лугово-черноземновидные. Содержание гумуса низкое от 3,8 до 4,5 %. Мощностью гумусового слоя 20-30 см. Черноземный характер группового и фракционного составов гумуса наблюдается у луговых черноземовидных почв только в верхнем горизонте. С глубиной состав гумуса изменяется и соответственно отношение гуминовых и фульвокислот: $C_{гк}/C_{фк}$ уменьшается от 1,14-1,3 до 1,0 и менее. Почвы относятся к слабо кислым $\text{pH}_{\text{сол}}$ 5,3-6,0, имеют глинистый механический состав по всему профилю. Особые биоклиматические условия Амурской области и тяжелый механический состав приводят к частому переувлажнению этих почв [Голов, 2001].

Почвы участков в окрестностях с. Нижние Бузули относятся к бурым лесным, имеют суглинистый механический состав. Гумусовый горизонт малой мощности (20-22 см). Содержание гумуса в пахотном слое очень низкое – до 3 %. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$ больше единицы (1,1-1,8), с глубиной начинают преобладать фульвокислоты. Реакция почв слабокислая, pH солевой вытяжки – 5,4-5,8.

Почвы участков с. Отважное луговые глеевые. Имеют темно-серый гумусовый горизонт мощностью 20-22 см. Переходный горизонт АВ отсутствует. Начиная с горизонта В. обнаруживаются признаки восстановительных процессов. Содержание гумуса в пахотном слое 4-6 % и резко понижается в подпахотном до 1 %. Гу-

мус верхнего горизонта имеет гуматно-фульватный состав. В нижележащих слоях отношение $C_{гк}/C_{фк}$ меньше 1. При поверхностном переувлажнении за счет атмосферных осадков тяжелые по механическому составу глинистые и тяжело-суглинистые почвы имеют неблагоприятные водно-физические свойства. Эти почвы кислые, pH солевой вытяжки – 4,4-5,8.

Буро-таежные почвы (рудопоявление «Звездочка») отличаются высоким содержанием гумуса (23-24 %) в верхнем горизонте, мощность которого всего около 6 см. Вниз по профилю содержание его сначала резко (до 5-6 %), а затем постепенно убывает. В групповом составе гумуса буро-таежных почв, в верхних горизонтах несколько преобладают гуминовые кислоты или же содержание гуминовых кислот и фульвокислот примерно равное. С глубиной по профилю почв содержание фульвокислот начинает во все возрастающей степени преобладать и отношение $C_{гк}/C_{фк}$ соответственно уменьшается до 0,7-0,3. pH водной суспензии меняется в пределах 5-6 [Ливеровский, 1972].

Содержание золота в золе надземной биомассы луговой растительности на описанных выше участках варьировало от 0,046 до 0,37 г/т, платины от < 0,03 до 0,18 г/т, палладия от < 0,002 до 0,050 г/т.

Геохимическое поведение благородных металлов в природе определяется группой факторов, среди которых особую роль играют растворение, комплексообразование, адсорбция. Периодическое переувлажнение почв обуславливает специфику миграции и накопления благородных элементов в ландшафтах. Главный источник поступления благородных металлов в систему почва-растение – горные породы. Применительно к рассматриваемому региону можно выделить три формы нахождения золота и благородных металлов в горных породах: связанные с порообразующими минералами, связанные с сульфидами и самородное. Указанные формы отражают степень дисперсности золота и благородных металлов в породе. Следует отметить, что золото находится главным образом в самородном состоянии. В геохимических процессах поведение золота и платины имеет много общего, на что указывают работы [Судариков и др., 1989; Абрамов и др., 1999].

Подвижность благородных металлов в геологических процессах главным образом связана с воздействием водных растворов. Для того чтоб стать гидрогенной составляющей золо-

то и благородные металлы должны извлекаться из минералов-носителей, и именно подземные и грунтовые воды, растворяя и разрушая вмещающие горные породы и руды способствуют переходу в раствор. По данным [Судариков и др., 1989] в природных водах золоторудного месторождения наиболее высокие концентрации платиновых металлов характерны для грунтовых вод.

Подземные воды Верхнего Приамурья по химическому составу чаще всего относятся к гидрокарбонатным, изредка к гидрокарбонатно-сульфатным кальциевым, магниевым-кальциевым, с минерализацией от 0,1 до 0,5 г/дм³, нейтральным или слабокислым [Сорокина, 2005]. Миграция золота и благородных металлов, находящихся в среде гидрокарбонатных кальциевых вод, может осуществляться в виде различных растворимых соединений (неорганические и органоминеральные комплексы), коллоидных и взвешенных частиц. В работе [Варшал и др., 1984] на основании сравнения данных об устойчивости фульватных комплексов золота (III) и комплексов золота (III) с неорганическими лигандами – компонентами природных вод, утверждается, что главными формами переноса золота являются его комплексы с фульвокислотами. Показано, что фульвокислоты увеличивают миграционную способность благородных металлов в природных водах на 1-2 порядка [Варшал и др., 1994a]. Металлическое золото фульвокислотами в раствор не переводится, но, если золото находится в коллоидно-дисперсном состоянии, оно способно сорбировать кислород, переходить в окисленную форму и образовывать прочные фульватные комплексы, легко мигрирующие в поверхностных водах. При переносе металлов в виде органо-минеральных комплексов органическое вещество выполняет, по терминологии В.И. Вернадского, транспортную функцию.

Наряду с миграцией и рассеиванием растворенное золото и благородные металлы способны к концентрированию и образованию элементарных форм. Способность вод к концентрированию золота может быть реализована в различных условиях: в почвенных горизонтах, в зоне аэрации, в среде миграции подземных вод. Гуминовые кислоты как наиболее распространенный природный комплексообразующий сорбент обладают высокой емкостью по отношению к благородным металлам, и в этом процессе реализуется один из наиболее вероятных ме-

Таблица 5

Коэффициенты биологического поглощения благородных металлов травы укоса

Место отбора	Рассчитанные коэффициенты (КБП)						БХА (КБП)
	Ag	Au	Pt	Pd	Ru	Os	
Волково	14,3	25,6	—	—	3,6	0,20	43,7
Отважное	7,9	23,3	—	—	3,0	0,38	34,6
Красноярво	2,0	10,7	—	—	2,6	0,26	15,6
Нижние Бузули	6,9	17,9	—	—	2,8	0,32	27,9
Звездочка	8,3	86,0	36,0	5,0	—	—	135,3

ханизмов концентрирования благородных металлов в земной коре [Варшал и др., 1994б]. По мнению Е.М. Дутовой [2006], способность вод к концентрированию многократно усиливается в областях разгрузки, в среде аллювиальных отложений речных долин, создавая в той или иной степени обогащенные золотом горизонты.

Выходя на поверхность Земли, комплексы благородных металлов теряют устойчивость вследствие изменения физико-химических условий, и преобладающим становится процесс образования металлических форм элементов на различных биогеохимических барьерах и их осаждение. Многими исследователями отмечается способность золота к многочисленным перетолжениям и образованию вторичных месторождений при изменяющихся геохимических условиях [Моисеенко, Эйриш, 1996; Дутова, 2006].

На основании результатов анализа золы растительности луговых ландшафтов были рассчитаны коэффициент биологического поглощения КБП, приведенные в табл. 5. Расчет коэффициентов позволяет выявить особенности миграции и перераспределения благородных металлов и установить региональную специфику исследуемой территории. Оценивая в целом распределение благородных металлов в золе растительности различных районов Амурской области, можно выделить два типа распределения благородных металлов. Первый тип – распределение в районах, где не наблюдается выраженных аккумулятивных биогеохимических аномалий относительно золота, платины, палладия. Их концентрации в золе растений можно оценить как фоновые. К фоновым участкам можно отнести территории населенных пунктов Волково, Отважное, Красноярво, Нижние Бузули. Биогеохимическая активность в отношении благородных металлов для трав укоса этих территорий колеблется в интервале 15,6-43,7 (табл. 5).

Второй тип распределения характеризуется незначительными максимумами по содержанию золота, платины, палладия по сравне-

нию с кларками литосферы и фоновыми территориями. Небольшое аккумулятивное обогащение растениями благородных металлов прослеживается на территории рудопроявления золота Звездочка.

Рудопроявление Звездочка располагается в бассейне р. Улунга. Территория практически лишена обнажений коренных горных пород, представленных в основном раздробленными и минерализованными диоритовыми порфиритами талданского комплекса. Массивные коренные породы обнажаются лишь в русле руч. Звездочка. Диоритовые порфириты интенсивно окварцованы, превращены в охристые, зеленоватые, желтые или белые глины с обломками кварца. Встречаются линзы мономинерального галенита в ассоциации с халькопиритом, в которых содержание золота достигает 104,2 г/т. Значительная часть самородного золота в рудных телах находится в свободном состоянии. Зерна золота в основном средних размеров. Среднее содержание золота в породах по результатам бороздового опробования 3,14 г/т [Неронский, Бородавкин, 1987]. Растительно-почвенный коэффициент по золоту для данной территории составляет 0,12. Коэффициент биологического поглощения золота естественных ценозов рудопроявления Звездочка – 86,0. Это выше в 3-8 раз коэффициента фоновых территорий, и в 30 раз ниже, чем КБП для клевера ползучего, что вероятно обусловлено размером самородного золота и видовым составом трав укоса. Биогеохимическая активность в отношении благородных металлов для трав укоса территории рудопроявления составляет 135,3. Эта величина характерна для растений с пониженной активностью к поглощению благородных металлов. Т.е. основную массу трав укоса составляют виды растений с антиконцентрационными физиолого-биохимическими барьерами. Несколько повышенное содержание благородных металлов в траве укоса рудопроявления Звездочка по сравнению с фоновыми территориями, как можно судить по приведенным выше данным, обус-

ловлено близостью рудного тела и благоприятными почвенными показателями. Таким образом, малая информативность по отношению к благородным металлам травы укоса делает ее непригодной при геохимических поисках в качестве основных объектов опробования.

Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что различные виды растений в одинаковых геохимических условиях характеризуются различной избирательностью в накоплении благородных металлов. Установлена группа растений со специфически высокой биологической активностью к благородным металлам. Надземная часть клевера ползучего является хорошим аккумулятором благородных металлов. Отмечена неэффективность использования травы укоса в качестве основного объекта опробования при биогеохимических поисках благородных металлов.

Список литературы

- Абрамов В.Ю., Потапов А.А., Кирюхин В.А., Козлов С.А. О формировании гидрогенной составляющей аллювиальных россыпей платины Дальнего Востока России // Геохимия. 1999. № 7. С. 753-757.
- Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
- Голов Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины. Владивосток: Дальнаука, 2001. 162 с.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Баранова Н.Н. Комплексообразование золота (III) с фульвокислотами и геохимическая роль этого процесса // Геохимия. 1984. № 3. С. 413-420.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Баранова Н.Н. и др. Комплексообразование серебра (I) с гумусовыми кислотами и геохимическая роль этого процесса // Геохимия. 1994а. № 8-9. С. 1287-1294.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечкина И.Я. и др. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994б. № 6. С. 814-823.
- ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 1986. 15 с.
- Дутова Е.М., Букаты М.Б., Неволько А.И. и др. Гидрогенное концентрирование золота в аллювиальных россыпях Егорьевского района (Салаир) // Геология и геофизика. 2006. № 3. С. 364-376.
- Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Т. 5. М.: Экология, 1997. 576 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Ковалевский А.Л. Биогеохимические методы поиска золоторудных месторождений // Обзор. Сер. III. Геол. методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых. М.: ВИЭМС, 1974. 34 с.
- Ковалевский А.Л. Литобиогеохимические поиски платиноидов // Отечественная геология. 1993. № 8. С. 27-35.
- Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М., Татьянакина Э.М. Биогеохимия платины и палладия в системе «растение-почва-горная порода» // Прикладная геохимия. Вып. 3. 2002. С. 538-550.
- Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М., Татьянакина Э.М., Прокопчук С.И. Особенности биогеохимической миграции платины и палладия в ландшафтах южной тайги Забайкалья // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 2. С. 248-251.
- Ливеровский Ю.А. Основные особенности географии и генезиса почв южной половины Дальнего Востока // Генезис бурых лесных почв. Магадан: Магаданская обл. типография, 1972. С. 7-19.
- Моисеев В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
- Неронский Г.И., Бородавкин С.И. Материалы по вскрытию и опробованию зоны № 4 по «дополнительной рекомендации на поиски рудного золота в бассейне р. Улунга». Благовещенск: Амур КНИИ ДВО РАН, 1987. 20 с.
- Полынов Б.Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв // Вестник АН СССР. 1947. № 12. С. 58-63.
- Радомский С.М. Методы определения благородных металлов в биогеохимических исследованиях. Благовещенск: Амур НЦ ДВО РАН, 2000. 29 с.
- Сорокина А.Т. Гидрологические системы Верхнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2005. 167 с.
- Судариков С.М., Абрамов В.Ю. Элементы группы платины в водах золоторудного месторождения // Геохимия. 1989. № 4. С. 581-584.
- Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Соболева Л.Н. и др. Минералы благородных металлов. М.: Недра, 1986. 272 с.
- Dunn C.E. Biogeochemical prospecting for metals // Biol. Systems in Mineral Exploration and Processing / R.R. Brooks et al. (eds). New York-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Singapore: Ellis Horwood, 1995. P. 371-425.

Рецензент кандидат геол.-мин. наук В.Ф. Рябинин