

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» НА ТЕРРИТОРИИ ВЬЮНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ)¹

¹И.А. ОБЕРЕМОК, ¹Е.А. ФИЛИМОНЕНКО, ¹Е.Г. ЯЗИКОВ, ²Ю.П. СОБЯНИН

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет
(Томск, Россия)*

genuine.i@yandex.ru

² *ООО «Богуславец»
(Якутск, Россия)*

y.sobyenin@taisuu.ru

Биогеохимия — наука о биогенной миграции химических элементов, а биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых являются одним из прикладных направлений биогеохимии. Интерес к этому глубинному поисковому методу значительно возрос в последнее время в связи с практическим исчерпанием фонда легко-открываемых месторождений в известных рудных районах и резким снижением эффективности поисковых работ несмотря на увеличение затрат [2]. Система «почва-растение» является крайне показательной, поскольку порой характеризуется безбарьерным накоплением поисковых и косвенных индикационных элементов в некоторых видах растительности, произрастающих на эпигенетических (вторичных) ореолах рассеивания коренных руд.

Для изучения особенностей распределения химических элементов в системе «почва-растение» была выбрана территория Вьюнского рудного поля. Вьюнское рудное поле занимает площадь 117,8 км² и расположено в Верхоянском районе Якутии. В пределах рассматриваемого рудного поля локализованы многочисленные золоторудные, золото-сурьмяные, золото-висмутовые, серебряно-полиметаллические месторождения и рудопроявления, а также золотоносные россыпи. На сегодняшний день хозяйственное освоение территории Вьюнского рудного поля ограничивается ведением геологоразведочных работ, однако территория рудного поля является перспективной для начала добычи полезных ископаемых, в первую очередь — золота.

Целью биогеохимических исследований на территории Вьюнского рудного поля является получение данных о фоновом геохимическом состоянии растительности и особенностях концентрирования и рассеяния химических элементов в растениях из почв.

Район расположения Вьюнского рудного поля относится к субарктической зоне с суровым резко-континентальным климатом с продолжительной суровой зимой и умеренно теплым коротким летом. По почвенно-географическому районированию территория Вьюнского рудного поля относится к Верхоянской провинции очень холодных мерзлотных почв подзоны

¹ Работа выполнена в рамках Договора между ТПУ и ООО «Дальзолото» № 13.13-108/2017 от 27.04.2017 г.

глее-мерзлотно-таежных почв северной тайги Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной области бореального пояса [5]. Почвы не представляют большой ценности с сельскохозяйственной точки зрения, а основная их ценность заключается в обеспечении нормального функционирования наземных экосистем и сохранения зональных видов животного и растительного мира. Растительность соответствует зоне лесотундры. Древесной породой, абсолютно преобладающей в лесном покрове и образующей самостоятельные древостои, на территории Вьюнского рудного поля является даурская лиственница. Она хорошо приспособлена к резко континентальному климату, переносит морозы и близкое залегание многолетней мерзлоты. Из кустарников на территории рудного поля встречаются кедровый стланик, карликовая береза (ерник), тальник. Широко распространены лишайники и мхи.

Для проведения биогеохимических исследований на территории Вьюнского рудного поля были выбраны два вида растительности: лиственница даурская (*L. dahurica Turcz.*) (исследовалась кора) и ягель (*Cladonia rangiferina*) (исследовались подстилки).

Биогеохимические исследования лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) широко распространены при проведении эколого-геохимических оценок территорий районов золотодобычи на Дальнем Востоке России [6, 7]. На мелких и каменистых почвах лиственница даурская формирует поверхностную корневую систему, на почвах с близким уровнем мерзлоты развивается стержневой корень, но только в молодости, а на моховых болотах лиственница даурская может образовать придаточную корневую систему. Кора лиственницы даурской красноватая, толстая и глубоко бороздчатая. Ягель (*Cladonia rangiferina*) представляет собой морозостойкий кустарниковый лишайник, достигающий в высоту 10–15 см, с небольшим ветвистым слоевищем и многочисленными разветвленными веточками. Широкое распространение лишайников на территории Якутии позволяет использовать их и в качестве адекватного объекта для изучения механизмов адаптации растений к техногенным воздействиям среды [1].

Для изучения особенностей распределения химических элементов в системе «почва-растения» на территории Вьюнского рудного поля точки отбора биогеохимических проб — коры лиственницы и ягеля, были совмещены с точками отбора почвы. Образцы почвы отбирались с горизонта 0-10 см, а общее количество комплексных точек отбора проб составило 35. Ввиду большой площади Вьюнского рудного поля точки были распределены между ключевыми участками, выделенными на основании территориального признака.

Подготовка всех образцов осуществлялась по унифицированным методикам. Биогеохимические пробы высушивались при комнатной температуре, после чего измельчались ручным способом, а затем — механическим. Пробы почвы после их высушивания просеивались через сито с размером ячейки 1 мм, фракция менее 1 мм подвергалась измельчению на микровиброистирателе. Гомогенизированные пробы почв, пробы сухого вещества коры лиственницы и ягеля исследовались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в Химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск).

Сравнение средних концентраций химических элементов в сухом веществе коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*), позволило установить, что уровни содержания Cr, Rb, Pd, In, Hg, Tl, Be, Eu, Tm, Lu, Ta, W, Au, Y, Ag и La в них не различаются. То есть, видовые особенности рассматриваемых биообъектов не оказывают значимого влияния на интенсивность накопления перечисленных химических элементов. Также выявлено, что в коре лиственницы концентрации P, K, Ca, Mg, Sr, Mn, Ba, Cu, Co, Ni, Zn, Cd, Ge, Se, Ru, Al, Ga, Rh, Sn повышены по сравнению с ягелем, при этом для ягеля характерны статистически значимо более высокие уровни накопления Na, Sc, Li, Ti, V, Fe, As, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Hf, Pb, Th и U (Рисунок 1).

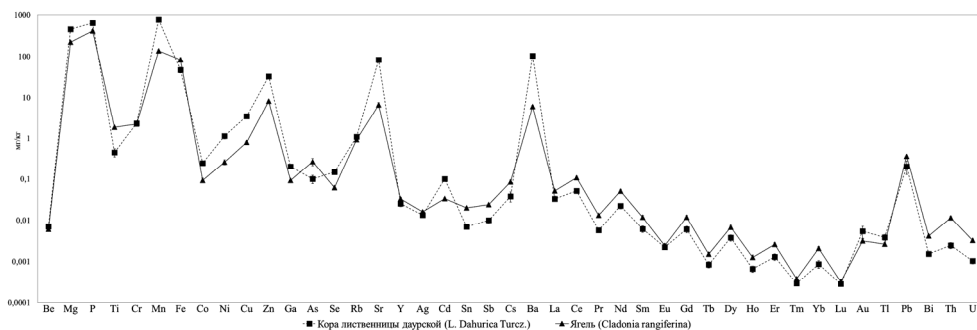


Рис. 1. Средние содержания химических элементов в коре лиственницы даурской (*L. Dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*), произрастающих на территории Вьюнского рудного поля (Якутия)

По результатам исследования установлено, что концентрации абсолютно-го большинства изученных химических элементов в почвах в $n \cdot 10 - n \cdot 100$ раз выше по сравнению с концентрациями в сухом веществе растительности. Это характерно как для системы «почва-кора», так и для системы «почва-ягель». При этом выделяется группа химических элементов, содержания которых и в ягеле, и в коре лиственницы, произрастающих на территории Вьюнского рудного поля, сопоставимы с содержаниями в почвах. В такую группу химических элементов отнесены те, для которых величина A_i (коэффициент биологического поглощения) больше 0,1.

Расчет A_i производился согласно формуле:

$$A_i = C_{i \text{ растит.}} / C_{i \text{ почва}}$$

где $C_{i \text{ растит.}}$ — концентрация i -го химического элемента в сухом веществе растительности (коры лиственницы или ягеля), мг/кг; $C_{i \text{ почва}}$ — концентрация i -го химического элемента в почве, мг/кг.

Для системы «почва-ягель» в группу химических элементов с относительно повышенным уровнем их биологического поглощения из почв относятся P, Hg, Au, Mn, Cd (рис. 2), а для системы «почва-кора» — Mn, P, Hg, Sr, Au, Cd, Zn, Ba (рис. 3).

Выделенная группа химических элементов объединяет биофильные элементы (например, Р) и элементы-индикаторы золоторудной минерализации (например, Au, Hg, Mn, Cd, Zn), характерные для месторождений золота на территории Якутии [3, 4].

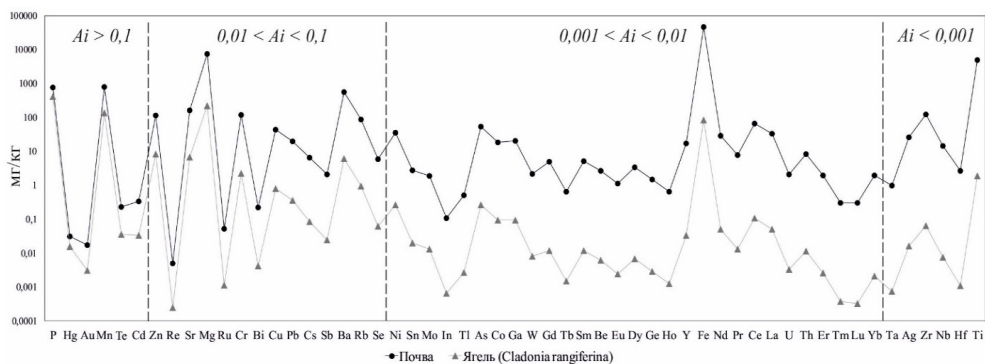


Рис. 2. Средние содержания химических элементов в системе «почва-ягель» на территории Выюнского рудного поля (Якутия)

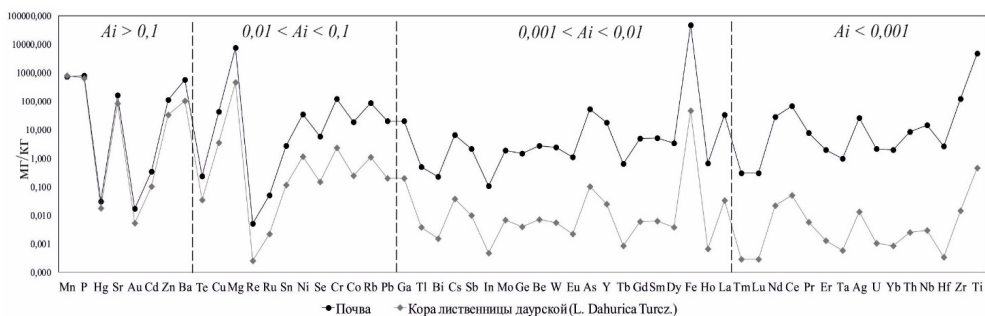


Рис. 3. Средние содержания химических элементов в системе «почва-кора» на территории Выюнского рудного поля (Якутия)

Расчет коэффициентов парной корреляции между содержаниями химических элементов в сухом веществе ягеля и в почве Выюнского рудного поля показал, что значимые положительные зависимости характерны для Cu ($r = 0,52$), As ($r = 0,52$), Ba ($r = 0,47$), Co ($r = 0,47$), Ni ($r = 0,44$), W ($r = 0,41$), Mg ($r = 0,38$) и Cs ($r = 0,36$) ($p = 0,05$ при $N = 35$). Аналогичные расчеты, проведенные для системы «почва-кора», позволили установить значимые положительные зависимости для As ($r = 0,79$), Co ($r = 0,51$), Be ($r = 0,47$), W ($r = 0,37$), Cu ($r = 0,35$) и Ni ($r = 0,34$) ($p = 0,05$ при $N = 35$). Линейная зависимость между содержаниями перечисленных химических элементов в почве и сухом веществе ягеля и/или коре лишайницы свидетельствует о безбарьерном пути накопления этих элементов в исследуемых видах растительности. Следовательно, биогеохимические ореолы указанных элементов могут быть использованы для картирования геохимических аномалий, генерируемых золоторудными телами.

Расчет коэффициентов парной корреляции между содержаниями химических элементов в сухом веществе коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*), произрастающих на территории Вьюнского рудного поля, позволил установить значимые положительные взаимосвязи между концентрациями в них As ($r = 0,76$), Au ($r = 0,71$), Ni ($r = 0,59$), Co ($r = 0,55$), Lu ($r = 0,43$), Ca ($r = 0,42$), Rb ($r = 0,41$), Cr ($r = 0,76$), Rh ($r = 0,37$), Cs ($r = 0,36$), Sr ($r = 0,36$) (уровень значимости $p = 0,05$ при $N = 34$).

Таким образом, в результате проведенных биогеохимических исследований были получены оригинальные данные, которые важны для осуществления экологически-ответственного освоения территории Вьюнского рудного поля, а также представляют научный интерес для изучения биогеохимических процессов на территории месторождений твердых полезных ископаемых, расположенных в зоне субарктики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аньшакова В.В., Степанова А.В. Биотехнологическая переработка возобновляемого сырья Якутии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 409.
2. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков: [монография] / А. Л. Ковалевский, О. М. Ковалевская; науч. ред. А. М. Плюснин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Геолог. ин-т. — Новосибирск: Гео, 2010. С. 356
3. Макаров В.Н. Геохимические ореолы золоторудных месторождений Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России, 2016. С. 110-113.
4. Макаров В.Н. Геохимия окружающей среды Верхнеиндигирского золотоносного района // Наука и образование. 2008. № 4. С. 45-48.
5. Почвы Якутии / Atlas-Yakutia. [Сайт]. — URL: <https://www.atlas-yakutia.ru/soilmap.html> — (дата обращения: 02.04.2018).
6. Сорокина О.А. Влияние золотодобычи на состояние растительности долины реки Джалинда (Дальний Восток) // География и природные ресурсы. 2009. № 3. С. 37-42.
7. Юсупов Д.В. Биогеохимические ореолы золота и ртути Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 6. С. 38-43.

УДК: 543.421, 57.044

ВЛИЯНИЕ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (CU, ZN, FE, MN, PB, CD) НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОВСА ПОСЕВНОГО (*AVENA SATIVA*)

А.С. ПЕТУХОВ

Тюменский государственный университет
(Тюмень, Россия)
revo251@mail.ru

Токсическое влияние тяжелых металлов на растения может привести к деградации растительных сообществ на загрязненных почвах, а наличие кумулятивного эффекта в тканях растений ограничит использование территорий для выращивания сельскохозяйственных культур (Каббата-Пендиас, Пендиас,