

## РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЬЮН (РЕСПУБЛИКА САХА-(ЯКУТИЯ))

А. Ю. Мишанькин<sup>1</sup>, Е. Г. Языкков<sup>1</sup>, Е. А. Филимоненко<sup>2</sup>, Ю. П. Собянин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет  
Томск, Россия, andreyka.mishankin@mail.ru

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет  
e.a.filimonenko@utmn.ru

<sup>3</sup>ООО «Богуславец»  
Якутск, Россия, yuri\_sob63@mail.ru

## RADIOACTIVE ELEMENTS IN THE COMPONENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE VYUN GOLD ORE DEPOSIT (REPUBLIC OF SAKHA-(YAKUTIA))

A. Yu. Mishankin<sup>1</sup>, E. G. Yazikov<sup>1</sup>, E. A. Filimonenko<sup>2</sup>, Yu. P. Sobyenin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia, andreyka.mishankin@mail.ru

<sup>2</sup>Tyumen State University  
e.a.filimonenko@utmn.ru

<sup>3</sup>LLC "Boguslavets"  
Yakutsk, Russia, yuri\_sob63@mail.ru

The article provides data on the content of radioactive elements (Th, U) in bottom sediments of watercourses, soil cover, bark of daurian larch (*L. dahurica Turcz.*) and reindeer lichen (*Cladonia rangiferina*) in the territory of the Vyun gold deposit (Republic of Sakha-(Yakutia)) at the pre-exploitation stage of its development. Data on the main statistical parameters, characteristics of distribution, correlation of Th and U contents are presented. The contents are compared with clark levels.

### Введение

В настоящее время в Российской Федерации актуальными являются исследования, направленные на расширение ресурсной базы золота и поиски новых золоторудных объектов. Для объектов подобного рода необходимо проведение фоновой оценки состояния окружающей среды, которая учитывает содержания широкого спектра химических элементов в различных компонентах природной среды до начала добычных работ, а также может служить в качестве ориентира при поисковых работах.

В данной работе рассматриваются содержания радиоактивных элементов (Th, U) в компонентах природной среды территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия)) на доэксплуатационной стадии его освоения. Работа выполнена в рамках комплексной эколого-геохимической оценки территории месторождения, проведённой сотрудниками кафедры Геоэкологии и геохимии в 2017 г.

### Характеристика исследуемой территории

Золоторудное месторождение Вьюн расположено на территории Верхоянского района Республики Саха (Якутия) в 300 км юго-восточнее административного центра – пос. Батагай и в 550 км к северо-востоку от республиканского центра – г. Якутска

Месторождение Вьюн находится в центральной части одноименного рудного поля и открыто в 1974 г. геологом Янской геологоразведочной экспедиции Л. П. Комаровой.

Район месторождения характеризуется среднегорным рельефом, который местами доходит до высокогорного, относится к субарктической зоне с суровым резко-континентальным климатом.

В районе месторождения наблюдается сплошное распространение многолетнемерзлых пород мощностью от 200 до 350 м. Глубина сезонного протаивания грунтов не превышает 1 м.

В геологическом плане золоторудное месторождение Вьюн входит в состав Эльгенджинского рудно-россыпного узла Адычанской золотоносной зоны, которая протягивается в северо-западном направлении на 300 км при ширине до 50 км и занимает меж-

дуречье рек Адыча, Джолакаг, Эльдгенджа, Бурдганджа. В более широком смысле месторождение Вьюн является частью Яно-Колымского пояса

Территорию месторождения слагают терригенные отложения верхнетриасового возраста, которые относятся к периферической части надинтрузивной зоны невоскрытого Бурганджинского гранитоидного массива с предполагаемой глубиной залегания кровли гранитоидов до 2 км.

Руды месторождения относятся к малосульфидному золото-кварцевому типу. Основными рудными минералами являются арсенопирит и пирит [1].

## Материалы и методы

На территории месторождения опробовались донные отложения водотоков, почвенный покров, кора лиственницы даурской и ягель.

Донные отложения отбирались из четырёх водотоков: ручей Вьюн (6 проб), правый приток ручья Вьюн (2 пробы), левый приток ручья Вьюн (2 пробы), река Бурганджа (3 пробы).

Пробы донных отложений отбирались без стратификации из приводного слоя на участках водотоков с установившимся динамическим равновесием между взвешенными частицами и донными отложениями, при отсутствии смыва последних. Пробоотбор осуществлялся при помощи лопатки из нержавеющей стали. Масса каждой отобранной пробы составляла не менее 1 кг.

Общее количество отобранных и изученных проб донных отложений из водотоков на территории месторождения составило 13 образцов.

Пробы почвы отбирались с верхнего горизонта (0–10) см методом конверта. Местом отбора каждой индивидуальной пробы почвы являлась площадка прямоугольной формы с размерами сторон от 2 до 10 метров. Индивидуальная проба с каждой площадки представляла собой объединенную пробу, составленную из 5 точечных проб.

Всего было отобрано 19 индивидуальных проб почв.

Пробы коры лиственницы даурской отбирались с нескольких (3–5) взрослых деревьев с 2-х (в случае если диаметр ствола менее 15 см) или 4-х сторон ствола на высоте 1,5 метра от поверхности земли с использованием легкого топорика. При стесывании коры не допускалось попадания в пробу расположенного под корой луба (флоэмы и камбия), т. к. живые ткани дерева малоинформативны по отношению к большинству элементов-индикаторов.

Пункты отбора проб коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) на территории месторождения совмещались с пунктами опробования почвенного покрова. Общее количество отобранных проб коры лиственницы составило 18 образцов.

Биогеохимические пробы ягеля отбирались не менее чем с 4 пробных площадок на каждой точке

опробования. Расположение пунктов отбора проб ягеля (*Cladonia rangiferina*) на территории месторождения совпадало с расположением пунктов опробования почвенного покрова и коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*). Общее количество отобранных проб ягеля составило 19 образцов.

Подготовка проб донных отложений к лабораторно-аналитическим исследованиям заключалась в их высушивании до воздушно-сухой массы при комнатной температуре, ручном измельчении и просеивании через сито с размером ячейки 1 мм. Выделенная фракция менее 1 мм измельчалась на микровиброистирателе в лаборатории Отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, после чего упаковывалась в пакеты из крафт-бумаги.

По схожей схеме осуществлялась пробоподготовка образцов почвенного покрова.

Образцы коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеля (*Cladonia rangiferina*) помещались в пакеты из крафт-бумаги, в которых впоследствии высушивались при комнатной температуре до состояния воздушно-сухого вещества, после чего измельчались.

Для проб почвенного покрова и донных отложений проводился количественный химический анализ на 55 химических элементов (Be, Mg, P, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U), для проб коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеля (*Cladonia rangiferina*) – на 67 химических элементов (Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ISP-МС) в аккредитованном химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск).

В данной работе обсуждаются данные по содержаниям радиоактивных элементов в компонентах природной среды (Th, U).

Обработка результатов лабораторно-аналитических исследований проб компонентов природной среды, отобранных на территории золоторудного месторождения Вьюн, заключалась в проведении математико-статистического и эколого-геохимического анализа.

Для выборки по каждому рассматриваемому химическому элементу в составе донных отложений, почв, коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеля (*Cladonia rangiferina*) была проведена проверка принадлежности его максимального содержания к анализируемой выборке согласно Методическим указаниям [4]. В случае установления ураганных (аномально высоких) концентраций эле-

ментов в образцах, такие концентрации были заменены отвечающие требованиям их принадлежности к анализируемой выборке.

Оценка числовых характеристик содержаний химических элементов в пробах донных отложений, почв, коры лиственницы и ягеля, выполнялась с использованием программного обеспечения Statistica 10.0. В качестве критерия соответствия эмпирического распределения оцениваемых показателей в природных поверхностных водах на территории ме-

сторождения нормальному закону распределения использовано отношение показателей асимметрии и эксцесса к их стандартным ошибкам [3].

В качестве средних значений содержаний химических элементов в пробах компонентов природной среды принимались средние арифметические значения (в случае, если для исследуемой выборки характерен нормальный закон распределения). В случае, если для выборки устанавливался логнормальный закон распределения, в качестве средних значений использовались средние геометрические.

**Таблица 1.** Средние по месторождению Вьюн концентрации Th и U и величины Th/U отношения в донных отложениях, почвенном покрове, коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*), мг/кг

Показатель	Донные отложения	Почвенный покров	Кора лиственницы даурской ( <i>L. dahurica Turcz.</i> )	Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )
Th	8,18 ± 1,83	6,65 ± 1,76	0,0016 ± 0,0023	0,0109 ± 0,0066
U	2,26 ± 0,26	1,78 ± 0,34	0,0009 ± 0,0010	0,0033 ± 0,0014
Th/U	3,62	3,74	1,78	3,30
Кларк верхней части континентальной земной коры по Григорьеву Н.А., мг/кг [2]				
Th	9,1			
U	2,5			
Средний состав референтного растения, Markert В., мг/кг [5]				
Th	0,005			
U	0,01			

среднее значение ± стандартное отклонение. В случае нормального закона распределения по выборке применялось среднее арифметическое значение, в случае логнормального – среднее геометрическое.

**Таблица 2.** Основные статистические характеристики концентраций Th и U в донных отложениях, почвенном покрове, коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) территории золоторудного месторождения Вьюн

Хим. эл-т	Среднее, мг/кг	Медиана	Мода	Минимум	Максимум	Дисперсия	A	E
Донные отложения								
Th	8,18	8,1	8,3	5,6	12,0	3,36	0,83	0,32
U	2,26	2,3	2,4	1,8	2,6	0,07	-0,82	-0,24
Почвенный покров								
Th	6,65	6,8	Множ.	1,9	9,0	3,11	-1,27	2,10
U	1,78	1,9	1,9	0,7	2,2	0,12	-2,37	6,33
Кора лиственницы даурской ( <i>L. dahurica Turcz.</i> )								
Th	0,0016	0,0012	Множ.	0,00057	0,0096	0,000005	2,42	6,04
U	0,0009	0,0008	0,0003	0,00025	0,0037	0,000001	1,65	2,24
Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )								
Th	0,0109	0,010	Множ.	0,004	0,032	0,000044	1,53	3,17
U	0,0033	0,003	Множ.	0,001	0,007	0,000002	1,42	3,03

A – асимметрия, E – эксцесс.

## Результаты и их обсуждение

Средние по месторождению Вьюн концентрации Th и U, а также величины Th/U отношения в донных отложениях, почвенном покрове, коре листовенницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) представлены в таблице 1.

Основные статистические характеристики концентраций Th и U в компонентах природной среды приведены в таблице 2.

Характеристика однородности распределения концентраций исходя из величин коэффициента вариации в донных отложениях, почвенном покрове, коре листовенницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) представлена в таблице 3.

Коэффициенты парной корреляции между содержаниями Th и U в компонентах природной среды представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы, содержания Th и U в исследованных компонентах природной среды во всех случаях значимо положительно коррелируют между собой. Наиболее значимая связь между данными элементами зафиксирована в почвенном покрове.

Величины Th/U отношения в компонентах природной среды исследуемой территории изменяются от 1,78 до 3,74, максимальная величина установлена для почвенного покрова, минимальная для коры листовенницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) (таблица 5).

Величины кларков концентраций Th и U в компонентах природной среды золоторудного месторождения Вьюн показаны на рисунке 1.

**Таблица 3.** Характеристика однородности распределения концентраций Th и U в донных отложениях, почвенном покрове, коре листовенницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) территории золоторудного месторождения Вьюн

Химический элемент	Величина коэффициента вариации	Характеристика распределения	A/δA	E/δE	Закон распределения
Донные отложения					
Th	22	Однородное	1,3	0,3	Нормальный
U	11	Однородное	-1,3	-0,2	Нормальный
Почвенный покров					
Th	27	Однородное	-2,4	2,1	Нормальный
U	19	Однородное	-4,5	6,2	Логнормальный
Кора листовенницы даурской ( <i>L. dahurica Turcz.</i> )					
Th	105	Сильно неоднородное	4,5	5,8	Логнормальный
U	82	Сильное неоднородное	3,1	2,2	Логнормальный
Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )					
Th	54	Неоднородное	2,9	3,1	Логнормальный
U	43	Неоднородное	2,7	2,9	Нормальный

A/δA – отношение асимметрии и стандартной ошибки асимметрии; E/δE – отношение эксцесса и стандартной ошибки эксцесса.

**Таблица 4.** Коэффициенты парной корреляции между содержаниями Th и U в донных отложениях, почвенном покрове, коре листовенницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) территории золоторудного месторождения Вьюн

Компонент природной среды	Величина коэффициента парной корреляции	Уровень значимости	Характеристика связи
Донные отложения	0,74	0,55	Значимая положительная
Почвенный покров	0,90	0,46	
Кора листовенницы даурской ( <i>L. dahurica Turcz.</i> )	0,58	0,47	
Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )	0,86	0,46	

**Таблица 5.** Величины Th/U отношения в донных отложениях, почвенном покрове, коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) территории золоторудного месторождения Вьюн

Компонент природной среды	Величина Th/U отношения
Донные отложения	3,62
Почвенный покров	3,74
Кора лиственницы даурской ( <i>L. dahurica Turcz.</i> )	1,78
Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )	3,30

Кларки концентрации Th и U в почвенном покрове и донных отложениях водотоков рассчитывались относительно кларка верхней части континентальной земной коры по Григорьеву Н. А. [2], а в коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) – относительно среднего состава референтного растения по Markert В. [5].

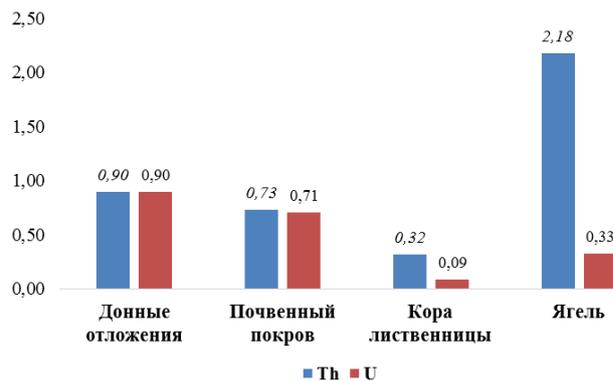
Полученные результаты свидетельствуют о том, что средние концентрации Th и U в исследованных компонентах природной среды золоторудного месторождения Вьюн имеют значения ниже кларковых. Исключением является содержание Th в ягеле, для которого установлен кларк концентрации 2,18 ед.

### Заключение

Таким образом, в ходе работы установлены уровни содержаний Th и U в донных отложениях водотоков, почвенном покрове, коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*)

### Литература

1. Анисимова Г. С. Геологическое строение и состав руд золото-кварцевого месторождения Вьюн, Восточная Якутия / Г. С. Анисимова // Руды и металлы, 2009. – № 5. – С. 59–69.
2. Григорьев Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры / Н. А. Григорьев // Геохимия, 2003. – № 7. – С. 785–792.
3. Михальчук А. А. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Ч. 2.



**Рис. 1.** Величины кларков концентраций Th и U в донных отложениях, почвенном покрове (относительно кларка верхней части континентальной земной коры по Григорьеву Н. А. [2]), коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) (относительно среднего состава референтного растения по Markert В. [5]) территории золоторудного месторождения Вьюн

на территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия)) на доэксплуатационной стадии его освоения.

Выявлено, что содержания Th и U за редким исключением находятся на уровнях ниже кларковых.

Установленные уровни содержаний радиоактивных элементов являются фоновыми для последующего промышленного освоения территории месторождения.

Стоит отметить, что в основании территории месторождения залегает нескрытый Бурганджинский гранитоидный массив, который может оказывать то или иное влияние на содержание радиоактивных элементов в изученных компонентах природной среды.

Компьютерный практикум: Учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Язиков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – 152 с.

4. Поцелуев А. А. Математические методы в геохимических исследованиях. Методические указания / А. А. Поцелуев, С. И. Сарнаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 1994. – 38 с.
5. Markert В. Establishing of 'reference plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting | В. Markert // Water, Air, and Soil Pollution, 1992. – № 64 (3). – P. 533–538.