

*ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ*

УДК 551.462 (262) + 911.52(99)

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ КОРЕННЫХ ПОРОД ОАЗИСА  
ОСТРОВА ГАЛИНДЕЗ (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)**

**Э.Я. Жовинский, С.М. Недогибченко\*, Н.О. Крюченко**

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины,  
03680, Киев, просп. Палладина, 34, Украина; zhovinsky@ukr.net, nataliya-kryuchenko@mail.ru*

*\* Национальный антарктический научный центр, 01601, Киев, бул. Т. Шевченко, 16, Украина; stanned@ukr.net*

Приведены результаты изучения содержания тяжелых металлов, редкоземельных элементов и стронция в поверхностных образованиях острова Галиндез (Западная Антарктика). Полученные содержания подвижных форм этих химических элементов позволили установить особенности их миграции и накопления в объектах окружающей среды. На основе этого сделан вывод, что в результате разрушения коренных пород в глинистую фракцию коры выветривания поступает максимальное количество подвижных форм Cu, Pb, Zn и большинства редкоземельных элементов. Глинисто-алевритовая фракция с примесью органики характеризуется максимальным содержанием Sr. Мох содержит максимальные количества подвижных форм Fe. Содержание подвижных форм стронция во мху на порядок выше, чем в поверхностных отложениях. Это позволяет предположить, что поступление и накопление Sr происходит из атмосферы.

*Остров Галиндез, химический состав, объекты окружающей среды, металлы, редкоземельные элементы*

**TRACE ELEMENTS IN THE RESIDUAL SOIL  
OF OASIS BEDROCKS, GALINDEZ ISLAND, WEST ANTARCTICA**

**E.Y. Zhovinsky, S.M. Nedogibchenko\*, N.O. Kryuchenko**

*Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NASU,  
03680, Kiev, Palladin av., 34, Ukraine; zhovinsky@ukr.net, nataliya-kryuchenko@mail.ru*

*\* National Antarctic Scientific Center, 01601, Kiev, boul. T. Shevchenko, 16, Ukraine; stanned@ukr.net*

The results of studying of the content of heavy metals, rare earth elements and strontium in surface formations of Galindez Island, West Antarctica have been presented. Definition of the content of mobile forms of these chemical elements makes it possible to determine the characteristics of their migration and accumulation in the environmental objects. Based on these results, the conclusions have been made that the maximum number of mobile forms of Cu, Pb, Zn and the most part of the rare earth elements are supplied into the clay fraction of the residual soil as a result of the bedrock destruction. Clay-silt fraction with an admixture of organic matter is characterized by the maximum content of Sr. Moss holds the maximum number of the mobile forms of Fe. The content of the mobile forms of strontium in moss is much higher than in the surface sediments. This allows one to suggest that the possible supply and accumulation of Sr occurs from the atmosphere.

*Galindez Island, chemical composition, environmental objects, metals, rare earth elements*

**ВВЕДЕНИЕ**

В связи с планированием Антарктическим научным центром Украины проведения в 2014 г. постоянного эколого-геохимического мониторинга объектов окружающей среды Западной Антарктики представляется особо важным изучение условий миграции химических элементов в разных цепочках природного ландшафта: коренные породы–осадочные отложения–вода–биота.

Первым этапом этой работы является изучение отдельных микроэлементов в основных объектах поверхностных отложений оазиса о. Галиндез. Антарктические оазисы – небольшие по размерам, свободные от покровного оледенения участки береговой зоны Антарктиды. Геохимические исследования объектов окружающей среды оазисов позволяют отвечать на вопросы об источниках

поступления химических элементов и решать целый ряд экологических задач.

Хотя территория оазиса и является уникальной, геохимические работы по определению микроэлементов в объектах окружающей среды здесь не проводились. Поэтому данные о содержании микроэлементов приводятся здесь впервые.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОАЗИСА

Исследуемый оазис расположен на северном склоне о. Галиндез (рис. 1), самом в архипелаге Аргентинские острова и состоящем из полутора десятков сравнительно небольших островов общей площадью около 10 км<sup>2</sup>. На о. Галиндез размещается Украинская антарктическая станция “Академик Вернадский”. Площадь острова Галиндез 0,43 км<sup>2</sup>, оазиса – 0,016 км<sup>2</sup>.

Высотная зона оазиса – от 51 м (абсолютная отметка вершины Вулз Хилл) до подножия склона на уровне 10 м от уреза моря в проливе Мик. Ширина оазиса от 30 до 70 м, средняя крутизна в верхней части 12–15°, в нижней – 50–90°.

Коренные породы оазиса представлены риолитом и его измененными разновидностями. Кора выветривания, неравномерно залегающая на породах фундамента, состоит из щебня, дресвы и глинистой фракции, последняя часто со значительной частью органических остатков.

Растительность представлена мхом, лишайниками, синезелеными водорослями, бактериальными сообществами.

Мох (Marchantiophyta) заполняет понижение расщелин скал, на влажных склонах и уступах образует моховые покрытия и создает значительные накопления некротомассы. Возможно, мху принадлежит наибольший вклад в формирование гумусо-субстратов оазиса (см. рисунок на обложке).

Среди симбиозов, образованных водорослями, наибольший интерес представляет их симбиоз с грибами, известный как лишайниковый симбиоз, в результате которого возникла своеобразная

группа растительных организмов, получившая название “лишайники”. На территории оазиса встречаются несколько разновидностей лишайников: накипные, ветвистые и капуста (все названия даны условно при съемочных работах на острове).

Водоросли широко распространены в пределах оазиса и оказывают значительное влияние на формирование ландшафтов и как их непосредственный компонент, и как мощный источник органического вещества. На поверхности обнаженных скал развиваются диатомовые и некоторые (преимущественно одноклеточные) зеленые водоросли, но наиболее обычные для этих местобитаний – представители синезеленых водорослей.

Водоросли и сопутствующие им бактерии образуют “горный загар” (накальные пленки) на кристаллических породах разных горных массивов. В рыхляке, который накапливается в выемках на подверженных выветриванию скалах, живут обычно одноклеточные зеленые и синезеленые водоросли.

Особенно буйные разрастания водорослей находятся на поверхности влажных скал, где они образуют пленки и наросты разного цвета. Как правило, здесь живут виды с толстыми слизистыми обертками. В зависимости от интенсивности освещения слизь бывает окрашенной более-менее интенсивно, что определяет цвет разрастаний. Они могут быть ярко-зеленые, золотистые, бурые, охристые, лиловые или темно-синезеленые, коричневые, почти черные в зависимости от образующих их видов.

На территориях, по той или другой причине лишенных растительности или грунтового покрова, формируются примитивные почвы (гумусо-субстраты), в образовании которых водоросли нередко вносят существенный вклад.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геохимическое опробование поверхностных отложений и мха проведено в декабре (одном из наиболее теплых месяцев года). Из коры выветривания территории отобрано по 10 проб – глинистой фракции и смеси глинисто-алевритовой со значительной примесью органических остатков (частицы мха, помет птиц и пр.), а также мхов.

Так как одним из критериев геохимического мониторинга объектов окружающей среды являются характер и особенности миграции химических элементов, в указанных объектах изучено содержание микроэлементов и их подвижных форм.

Аналитические работы выполнены в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины (ИГМР НАНУ) разными методами: потенциометрического анализа – pH, Eh, F; атомной абсорбции –

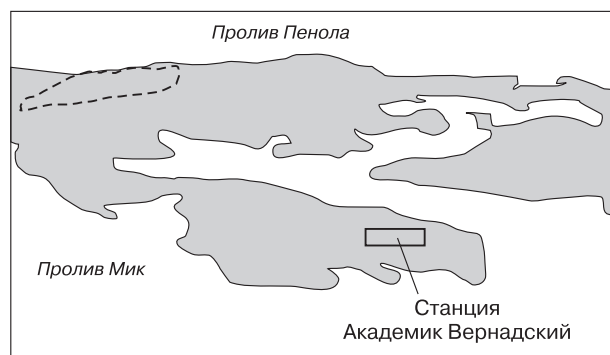


Рис. 1. Схема острова Галиндез (штриховой линией обозначена территория оазиса).

тяжелые металлы и их подвижные формы (Zn, Cu, Co, Pb, Ni, Fe) [Жовинский, 2002]. Поверхностные отложения и мох характеризуются слабокислой реакцией с незначительными колебаниями pH (5,1–5,6). Такие физико-химические условия среды наиболее благоприятны для миграции большинства тяжелых металлов. Это подтверждают и результаты определения их подвижных форм в перекрывающих коренные породы осадочных образованиях.

С помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой определяли редкие земли (прибор ИСП–МС Element-2 фирмы Thermo Finnigan, Германия).

Методика определения подвижных форм редкоземельных элементов состояла в следующем: 0,2 г пробы (просеянной и растертой) помещали в стакан, добавляли 10 мл 1 нормального раствора HNO<sub>3</sub> (особо чистой), взбалтывали на магнитной мешалке в течение 30 мин, прибавляли H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3–5 капель для удаления органики), фильтровали через фильтр “белая лента” и отбирали аликвоту для анализа на ИСП–МС.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основными породами фундамента оазиса являются риолиты и их измененные разновидности [Артемко и др., 2012], характеризующиеся средним

содержанием тяжелых металлов (мг/кг): Zn – 60; Cu – 10; Co – 5; Pb – 20; Ni – 8, Fe – 2700.

Миграция из коренных пород и особенности накопления тяжелых металлов в объектах ландшафта отражены на трехмерных диаграммах (рис. 2). Установлено, что максимальное содержание подвижных форм Zn, Cu, Pb характерно для глинистой фракции коры выветривания. Более равномерно идет накопление подвижных форм Co и Ni. Для мхов характерно максимальное накопление подвижных форм Fe. В случае увеличения содержания соединений сульфата железа мох окрашивается в коричневый цвет и отмирает.

Особенности миграции тяжелых металлов в продукты выветривания при разрушении коренных пород характеризует рассчитанный условный коэффициент выветривания (%), т. е. отношение содержания подвижных форм химического элемента в исследуемом объекте к суммарному содержанию его в коренных породах, умноженное на 100 (табл. 1). Благодаря высокой сорбционной способности в глинистую фракцию поступает максимальное количество подвижных форм Cu, Pb, Zn (22, 20 и 11,7 % соответственно). Накопление Co, Ni, Fe и образование металлоорганических соединений характерно для глинисто-алевритовой фракции с примесью органики – 14, 8,8 и 31,5 % соответственно. Мох характеризуется максимальным поступлением и накоплением подвижных

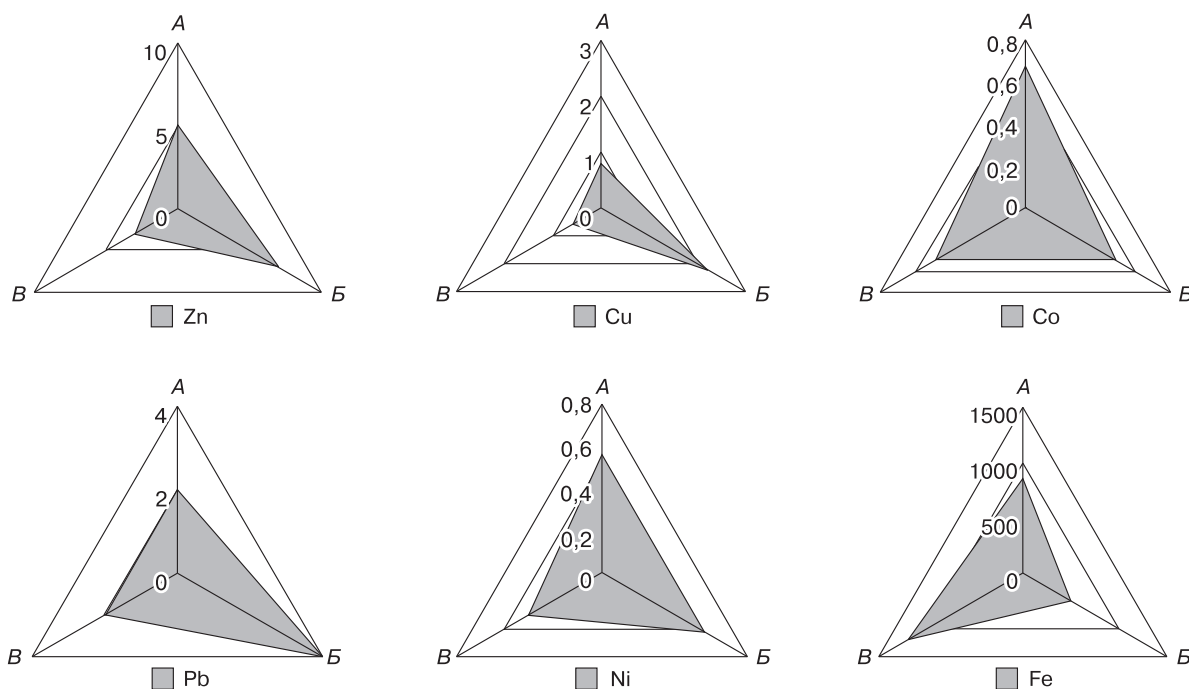


Рис. 2. Трехмерные диаграммы содержания (мг/кг) подвижных форм тяжелых металлов в объектах окружающей среды оазиса.

A – глинисто-алевритовая фракция с примесью органики; B – глинистая фракция; B – мох.

Таблица 1. Коэффициент выветривания (%) коренных пород оазиса о. Галиндез

Исследуемый объект	Металлы, %					
	Zn	Cu	Co	Pb	Ni	Fe
Глинисто-алевритовая фракция с примесью органики	8,3	8,0	14,0	10,0	8,8	31,5
Глинистая фракция	11,7	22,0	10,0	20,0	8,8	18,5
Мох	5,0	6,0	10,0	10,0	6,3	44,4

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАНУ методом атомной абсорбции.

Таблица 2. Содержание подвижных форм редкоземельных элементов и стронция в объектах окружающей среды оазиса о. Галиндез

Химический элемент	Глинисто-алевритовая фракция с примесью органики (C + Δ), ppm	Глинистая фракция (C + Δ), ppm	Мох (C + Δ), ppm	Предел обнаружения
Sr	131,1 ± 7,0	31,4 ± 0,4	1023,4 ± 50,0	<10–100 ppq
Y	6,3 ± 0,8	6,0 ± 0,8	0,045 ± 0,007	<100 ppq
La	2,3 ± 0,3	5,8 ± 0,5	0,018 ± 0,006	<10 ppq
Ce	5,1 ± 0,6	13,2 ± 1,0	0,040 ± 0,005	<5 ppt
Pr	0,70 ± 0,08	1,7 ± 0,3	0,0050 ± 0,0008	<5 ppt
Nd	3,6 ± 0,5	7,4 ± 0,5	0,020 ± 0,004	<5 ppt
Sm	0,980 ± 0,008	2,1 ± 0,3	0,010 ± 0,003	<5 ppt
Eu	0,18 ± 0,01	0,40 ± 0,05	0,010 ± 0,005	<5 ppt
Gd	1,2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0	<5 ppt
Er	0,60 ± 0,09	0,70 ± 0,08	0,010 ± 0,002	<5 ppt
Yb	0,40 ± 0,08	0,60 ± 0,05	0,0020 ± 0,0004	<5 ppt
Lu	0,060 ± 0,009	0,080 ± 0,009	0,0010 ± 0,0003	<5 ppt
Tm	0,080 ± 0,007	0,10 ± 0,01	0,000 50 ± 0,000 07	<5 ppt
Ho	0,30 ± 0,04	0,2765	0,000 50 ± 0,000 09	<5 ppt
Dy	1,2 ± 0,2	1,5 ± 0,2	0,0090 ± 0,0006	<5 ppt
Tb	0,200 ± 0,001	0,30 ± 0,06	0,0010 ± 0,0003	<5 ppt

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАНУ методом ИСП–МС.

форм Fe (44,4 %) – элемента, необходимого для нормального роста растения. Значительный интерес представляет распределение подвижных форм редкоземельных элементов и стронция (табл. 2). Глинистая фракция характеризуется относительно высоким содержанием редкоземельных элементов, в глинисто-алевритовой фракции с примесью органики содержание меньше примерно в 2 раза. Содержание редкоземельных элементов в мху в десятки, сотни и тысячи раз меньше, чем в указанных фракциях. В то же время мох характеризуется максимальным содержанием стронция (1023,4 мг/кг), что в 3 раза выше по сравнению со средним содержанием в породах фундамента (риолиты содержат Sr 300 мг/кг). На основе по-

лученных результатов можно предположить, что в пределах оазиса происходит аккумуляция стабильного изотопа  $^{88}\text{Sr}$  из атмосферы.

### ВЫВОДЫ

Приведены результаты изучения содержания тяжелых металлов, редкоземельных элементов и стронция в поверхностных образованиях о. Галиндез (Западная Антарктика). Установлено, что максимальное содержание подвижных форм Zn, Cu, Pb характерно для глинистой фракции коры выветривания. Более равномерно идет накопление подвижных форм Co и Ni.

На основе рассчитанного коэффициента выветривания определено, что в глинистую фракцию поступает максимальное количество подвижных

форм Cu, Pb, Zn, для глинисто-алевритовой фракции с примесью органики характерно накопление Co, Ni, Fe и образование металлоорганических соединений. Мох характеризуется максимальным поступлением и накоплением подвижных форм железа и стронция. Это позволяет предположить, что поступление и накопление Sr происходит из атмосферы.

### Литература

**Артеменко Г.В., Бахмутов В.Г., Бахмутова Л.Н.** Результаты геохимических исследований проявлений рудной минерализации в породах батолита антарктического полуострова // Укр. антаркт. журн., 2011/2012, № 10–11, с. 13–25.

**Жовинский Э.Я.** Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. Киев, Наук. думка, 2002, 213 с.

*Поступила в редакцию  
28 января 2014 г.*