

УДК 551.462 (262) +911.52(99)

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОСТРОВА ГАЛИНДЕЗ (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

С.М. Недогибченко<sup>1</sup>, Н.О. Крюченко<sup>2</sup>, Э.Я. Жовинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный антарктический научный центр, б-р Т. Шевченко, 16, г. Киев, 01601, Украина, uac@uac.gov.ua*

<sup>2</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины*

Впервые рассмотрены особенности распределения химических элементов в поверхностных отложениях прибрежного антарктического оазиса острова Галиндез (Западная Антарктика). Установлены повышенное содержание в них As, Sr и Cd, а также тесная корреляционная связь (более 0,9) между группой тяжелых металлов – Cu, Zn, Cd и Se. По профилю холма о-ва Вузли Хилл установлено изменение содержания тяжелых металлов: Ni и Co накапливаются в верхней части холма (первый уступ); распределение Zn неравномерно по всему склону; максимальное содержание Fe и Pb – на последнем уступе. Рассчитан кларк концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) и установлено, что Co, Ni, Pb склонны выноситься из материнских пород и накапливаться в поверхностных отложениях в ряду: Pb > Co > Ni, а Zn и Cu концентрируются в материнских породах.

### Особливості розподілу мікроелементів у поверхневих відкладеннях острова Галіндез (Західна Антарктика).

С.М. Недогібченко, Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський

**Реферат.** Уперше розглянуто особливості розподілу хімічних елементів у поверхневих відкладеннях прибережної антарктичної оазиса острова Галіндез (Західна Антарктика). Встановлено підвищений вміст у них As, Sr і Cd, а також тісний кореляційний зв'язок (понад 0,9) між групою важких металів – Cu, Zn, Cd і Se. За профілем пагорба о-ва Вузлі Хілл встановлено зміну вмісту важких металів: Ni і Co накопичуються у верхній частині пагорба (перший уступ); розподіл Zn нерівномірний по всьому схилу; максимальний вміст Fe і Pb – на останньому уступі. Розраховано кларк концентрації важких металів (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) та встановлено, що Co, Ni, Pb схильні виноситися з материнських порід і накопичуватись у поверхневих відкладах в ряді: Pb > Co > Ni, а Zn і Cu концентруються в материнських породах.

### The features of distribution of microelements in surface deposits of Galindez Island (Western Antarctica).

S.M. Nedogibchenko, N.O. Kryuchenko, E.Y. Zovinskiy

**Abstract.** It was considered features of distributing of chemical elements in the surface deposits of the off-shore Antarctic oasis of the Galindez island (Western Antarctic Region). It was set the heighten content in them As, Sr and Sd, and also close cross-correlation connection (more than 0,9) between the group of heavy metals – Cu, Zn, Cd and Se. The change of content of heavy metals on the profile of Woolly Hill is determined – Ni and Co accumulate on the top of the hill (first ledge); distributing of Zn is unevenly on all slope; maximal content of Fe and Pb is on the last ledge. The Clarke of concentration of heavy metals (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) is calculated and it was set, that Co, Ni, Pb are inclined to flux from maternal rocks and accumulate in surface deposits in the row: Pb > Co > Ni, but Zn and Cu concentrate in maternal rocks.

**Keywords:** distribution of microelements, surface deposits, Antarctic landscapes, geochemistry of landscapes.

## Вступление

Как известно, Антарктика является составной частью климатической системы нашей планеты. Данный регион как наиболее удаленный от промышленных центров является индикатором глобальных изменений, происходящих в атмосфере, гидросфере и криосфере Земли, а также дает возможность оценить глобальные фоновые уровни загрязняющих веществ в этих природных средах. Однако в мировой литературе не встречаются сведения относительно распределения химических элементов в грунтах, растениях, горных породах и их перехода из одной среды в другую. Настоящая статья посвящена анализу распределения микроэлементов в поверхностных отложениях территории острова Галиндез.

## Характеристика территории исследований

Остров Галиндез является наибольшим в архипелаге Аргентинские острова и находится в 7 км к западу от Антарктического полуострова. Площадь острова – 0,397 км<sup>2</sup>, наивысшая отметка – 58 м над уровнем моря [5].

Архипелаг Аргентинские острова расположен в северо-западной части Антарктического полуострова, который уникален тем, что как физико-географическая страна Западная Антарктика (рис. 1) выходит за пределы антарктического пояса и по зонально-типологической классификации относится уже к субантарктическому поясу, соответственно – к переходной субантарктико-нивальской зоне. Тип ландшафта определен как прибрежный антарктический оазис [1] (Рис. 1, 2, 3 см. на цв. вклейке между 48 и 49 стр.).

Антарктические оазисы – это небольшие внеледниковые участки прибрежной полосы и острова высотой до 200–300 м, окруженные льдами. Сложены большей частью кристаллическими сланцами, гранитами и др. Поверхность обработана экзарацией, рельеф преимущественно мелкопочечный, встречаются моренные гряды, много озер, часто бессточных (среди них – горько-солёные). Альbedo безледной поверхности много меньше, чем покрытой льдом и снегом. На протяжении трёх-четырёх месяцев температура поверхности почвы выше 0°, иногда каменистая поверхность может нагреваться почти до 40° [4]. Каменистые поверхности покрыты своеобразным пустынным загаром – тёмной красновато-коричневой железисто-марганцевой плёнкой. Растительность представлена отдельными пятнами лишайников, напочвенными и пресноводными водорослями, несколькими видами мхов. Здесь гнездятся буревестники, поморники, пингвины Адели.

Оазисы влияют на прилегающие ледники, усиливая таяние снега и льда. Несмотря на малую площадь, оазис имеет довольно сложную мозаику элементарных ландшафтов.

В плане он представляет собой отдельный водосборный бассейн с водораздельной грядой сглаженных ледником скал. В его средней части расположен явным образом выраженный жёлоб, круто падающий к небольшому леднику, лежащему у подножия северной отвесной скальной границы оазиса.

Особенностью ландшафтного комплекса оазиса, основные детали которого обозначены на обобщенном ландшафтном профиле, является наличие в его структуре контактной южной зоны с ледником, который занимает вершину острова, и отдельных его фрагментов, расположенных в расщелинах; отдельных скал, выступающих над поверхностью оазиса; каменных россыпей, состоящих из крупнообломочного материала и мелкой щебёнки, которые отложились в трещинах скальных блоков и у их подножия; каскада микроозер площадью 2–5 кв. м с илистым или щебенистым дном; растительных сообществ, представленных: в верхней части полигона – разного рода лишайниками, в нижней – в понижениях и трещинах скал, а также участками куртин мхов от нескольких до 10–30 м<sup>2</sup> [7]. Встречены несколько отдельных кустов травы и, в моховой подушке, – высшие грибы.

Территория исследований характеризуется тем, что с южной стороны имеется ледник, а с северной – безледная поверхность на протяжении летнего сезона (декабрь – март).

**Объект и методы исследования**

Объектом исследований служили поверхностные отложения острова Галиндез.

Поверхностные отложения острова Галиндез (рис. 2) отобраны по склону холма. Фотографии с места отбора проб приведены на рисунке 3.

Ландшафтный профиль выполнен на северном склоне холма острова Галиндез, в высотной зоне от 51 м (абс. отметка – вершина о-ва Вузл-Хилл) до уреза моря в проливе Мик. Средняя крутизна в верхней части – 12–15°, в нижней – 50–90°. Это участок суши, который более всего прогревается, имеет черты тундрового низкогорья и окружен ледником и снежниками.

Горными породами материка являются габбро и граниты, которые сформировались, в свою очередь, из материнской и базальтовой магмы из лавы (данные международной команды исследователей под руководством Стейси Лоуи из Калифорнийского университета). Материнской породой Западной Антарктиды является риолит – вулканический аналог гранита (по данным доктора геологических наук, члена украинской антарктической экспедиции Г.В. Артеменко).

Было отобрано 25 проб, каждая – после усреднения проб, отобранных методом конверта. Пробы отбирались начиная от вершины (проба № 1), с расстоянием между пробами около 10 метров, с северной стороны возвышенности Вузл-Хилл. С южной стороны находится ледник Домашний.

Для общего представления о химическом составе и закономерностях распределения элементов в поверхностных отложениях был использован спектрометрический анализ. В выборочных пробах определены содержания элементов Sr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Pb проведено на приборе индуктивно связанной плазмы ICP MS.

Для получения предварительных данных о поведении ряда химических элементов изучены подвижные формы тяжелых металлов. Анализы выполнены по стандартной методике [2]. Методом атомной абсорбции: Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Fe, Li; потенциометрическим – Ph, Eh и F.

**Результаты исследований**

Первые сведения о содержании химических элементов в поверхностных отложениях о-ва Галиндез получены с использованием метода ICP MS (см. табл.).

Таблица

**Статистические характеристики распределения элементов в поверхностных отложениях, мг/кг**

	<i>Sr</i>	<i>Y</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>
<i>Minimum</i>	31,434	0,046	0,018	0,045	0,005	0,019	0,001
<i>Maximum</i>	1123,010	6,348	5,801	13,219	1,717	7,389	2,151
<i>Median</i>	756,503	5,100	2,312	5,102	0,755	3,472	0,853
	<i>Gd</i>	<i>Tb</i>	<i>Dy</i>	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Tm</i>	<i>Yb</i>
<i>Minimum</i>	0,005	0,001	0,009	0,001	0,010	0,001	0,002
<i>Maximum</i>	101,000	0,290	1,519	0,277	0,726	0,100	0,572
<i>Median</i>	1,212	0,162	0,889	0,173	0,465	0,063	0,340
	<i>Lu</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>	<i>Se</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>
<i>Minimum</i>	0,000	1,934	2,403	0,065	0,060	0,039	2,444
<i>Maximum</i>	0,080	28,262	262,102	16,101	3,789	33,275	10,613
<i>Median</i>	0,050	9,349	13,910	8,797	0,999	1,758	4,184

При анализе статистических параметров выявлено, что содержание всех рассматриваемых микроэлементов в поверхностных отложениях намного ниже, чем в коренных породах, за исключением As, Sr и Cd, которые имеют повышенные концентрации. На первом этапе исследований причины их повышенного содержания можно только предположить.

*Мышьяк.* Его содержание в материнских породах (гранитах) составляет 1,5–6,0 мг/кг, среднее содержание в поверхностных отложениях – 8,7 мг/кг [3]. Как известно, наиболее низкие уровни содержания мышьяка характерны для песчаных почв, в частности для разновидностей, формирующихся на гранитах. Его максимальные концентрации, как правило, связаны с аллювиальными почвами и почвами, обогащёнными органическим веществом. Минералы и соединения мышьяка легкорастворимы, но интенсивность его миграции из-за активной сорбции глинистыми частицами, гидроксидами и органическим веществом невелика, поэтому в глинистых отложениях его содержание может достигать 13 мг/кг (среднее содержание в почвах мира – 4–6 мг/кг). Возможно, этим и объясняется повышенное его содержание.

Можно предположить, что в антарктических условиях, где поверхностные отложения являются фактически продуктом разрушения горных пород и не подвергаются влиянию техногенного загрязнения, повышенные содержания мышьяка связаны с деятельностью вулканов, которые извергались в последние 200 лет и выбрасывали значительные массы пепла. При извержении вулканов мышьяк в виде летучих соединений попадает в атмосферу, после чего выпадает на поверхность и сорбируется тонкодисперсным материалом.

*Стронций.* Его содержание в гранитах составляет 60–300 мг/кг [3], в поверхностных отложениях средняя концентрация – 750 мг/кг, что в два раза выше, чем в материнских породах. Этот элемент подвижен при выветривании, поэтому поверхностные отложения обогащаются стронцием.

*Кадмий.* Содержание кадмия в поверхностных отложениях составляет 1,75 мг/кг (при содержании в материнских породах 0,1–0,3 мг/кг). Естественными источниками поступления кадмия в атмосферу являются природные процессы – извержение вулканов, космическая пыль и др. Кадмий является относительно редким и рассеянным элементом, поэтому для установления возможности его концентрации в виде минералов цинка требуется дальнейшее изучение минерального состава тонкодисперсной фракции. Кадмий очень подвижен в кислых и нейтральных средах (рН поверхностных отложений 0–7,2) и при выветривании легко переходит в раствор. Так как в условиях Антарктиды материнские породы покрыты ледником, можно предположить, что накопление кадмия идет именно на поверхности разрушающихся пород.

При проведении корреляционного анализа было установлено, что тяжелые металлы – Cu, Zn имеют сильную корреляционную связь (0,8–0,9) с Se и Cd. Причём связь селена с элементами наиболее сильная (0,92). Однако его распределение по содержанию очень неравномерно (рис. 4).

Говоря о содержании в поверхностных отложениях селена, хочется отметить, что его ПДК не должно превышать 0,2 мг/кг, тогда как на о. Галиндез 40% проб имеют содержание, в 10–20 раз превышающее это значение (рис. 5). Источником селена служат атмосферные осадки, обогащенные этим элементом в результате естественных вулканических извержений.

Интерес представляет определение изменения содержания по профилю холма подвижных форм тяжелых металлов – Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Fe (аналитическое определение проведено методом атомной абсорбции).

Прямым источником накопления в поверхностных отложениях тяжёлых металлов являются горные породы, на продуктах которых сформировались поверхностные отложения.

Данный профиль характеризуется тем, что имеет несколько уступов (рис. 5), где возможна концентрация металлов – пробы 2–3, 11–14 и проба 18.

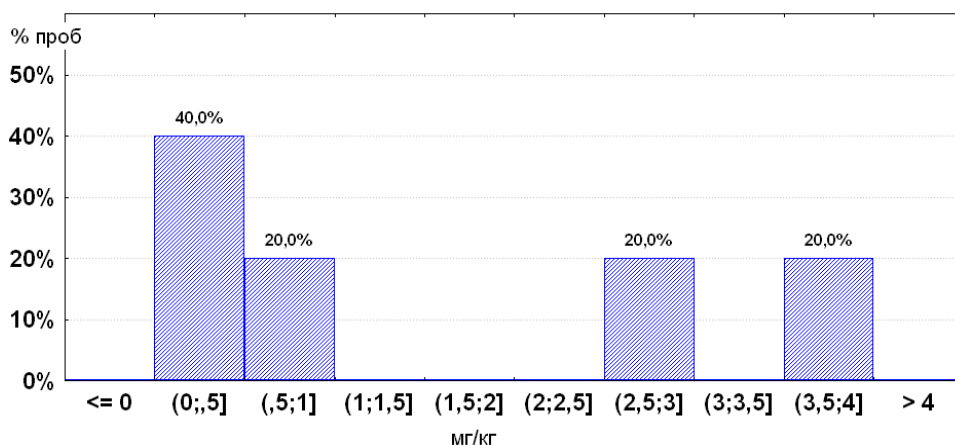


Рис. 4. Распределение селена в поверхностных отложениях

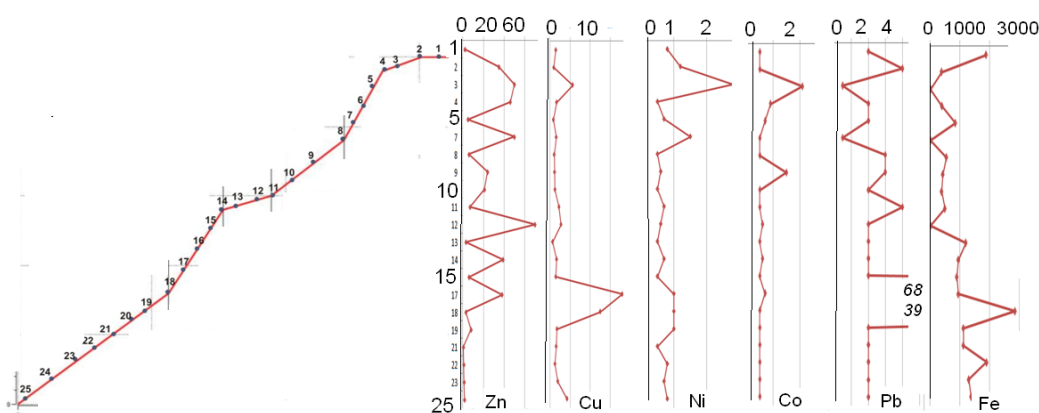


Рис. 5. Содержание химических элементов по профилю опробования, мг/кг

Анализ данных по распределению элементов показал, что в поверхностных отложениях они распределяются так: никель и кобальт накапливаются в верхней части холма (первый уступ, пробы 2–3), распределение цинка неравномерно по всему склону; максимальное содержание железа (3000 мг/кг) установлено в пробе 18, т.е. на последнем уступе. На последнем уступе установлено также некоторое увеличение содержания свинца (68 и 39 мг/кг), превышающее содержание в материнской породе в три раза. Возможно, повышенное содержание свинца связано с наличием его сульфидов, что требует дополнительных исследований.

Для определения геохимического поведения тяжелых металлов использованы рассчитанные кларки концентрации (КК) элементов [6] (Zn, Cu, Co, Ni, Pb), т.е. отношения содержания элемента в данной системе к его кларку в земной коре: если КК меньше 1, то элемент концентрируется в коренных породах, если больше 1 – то выносится (рис. 6).

На основании полученных данных можно сделать следующий вывод: металлы склонны выноситься из материнских пород и накапливаться в поверхностных отложениях в ряду:

$Pb > Co > Ni$ , и лишь Zn и Cu концентрируются в материнских породах.

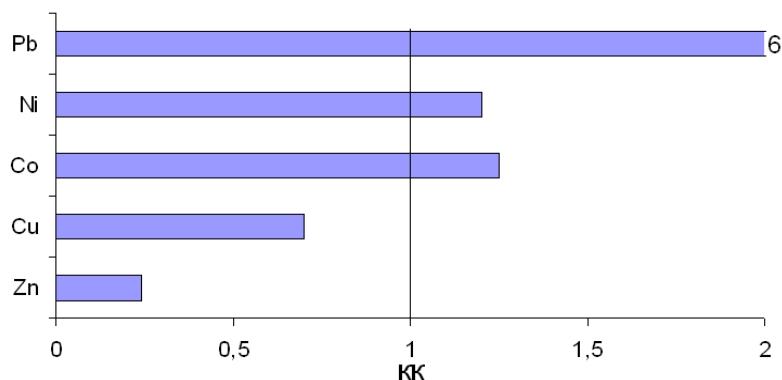


Рис. 6. КК химических элементов в поверхностных отложениях

### Выводы

Впервые рассмотрены особенности распределения химических элементов в поверхностных отложениях прибрежного антарктического оазиса острова Галиндез (Западная Антарктика). Выявлено, что при пониженном содержании химических элементов (относительно средних значений для поверхностных отложений) концентрация As, Sr и Cd в два раза больше. При проведении корреляционного анализа было установлено, что тяжелые металлы – Cu, Zn, Cd имеют сильную корреляционную связь (более 0,9) с Se, источником которого являются, возможно, вулканические извержения.

При определении изменения содержания по профилю холма о-ва Вузл-Хилл тяжелых металлов Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Fe было установлено, что Ni и Co накапливаются в верхней части холма (первый уступ); распределение Zn неравномерно по всему склону; максимальное содержание Fe и Pb — на последнем уступе.

Рассчитан кларк концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) и установлено, что Co, Ni, Pb склонны выноситься из материнских пород и накапливаться в поверхностных отложениях в ряду  $Pb > Co > Ni$ , а Zn и Cu концентрируются в материнских породах.

### Литература

1. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології. - К., «Либідь» 1993. – 224 с.
2. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – Киев. Наукова думка, 2002. – 213 с.
3. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э. К. Буренкова. М.: Недра, 1996.
4. Литвин В.М., Лымарев В.И. Острова. Серия «Природа мира». М., «Мысль», 2003. – 288 с.
5. Марков К.К., Бардин В.И., Лебедев В.Л. и др. География Антарктиды. – М.: Мысль, 1968. – 439 с.
6. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1988. – 528 с.
7. Beyer, L., Bölter, M. (Eds). Geocology of Terrestrial Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes, Ecological Studies, 2002, 154, v. 154. – P.161–184.