

УДК 579.695

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТАЛЛРЕЗИСТЕНТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОСТРОВАХ ВНУТРЕННЕГО ШЕЛЬФА АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

**Таширев А.Б., Рокитко П.В., Матвеева Н.А., Таширева А.А., Романовская В.А.**

*Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины, Д 03680, Київ ГСП, ул. Заболотного, 154. E-mail: [tach@i.com.ua](mailto:tach@i.com.ua)*

**Реферат.** Микроорганизмы, суперрезистентные к токсичным металлам, были выявлены в географической зоне внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова (30Ч60 км) на островах Darboux, Lippmann, Berthelot, Cruls, Barchans, Jalour, Uruguay, Scua, Three pigs, Winter, Grotto, Galindez, Pitermann, Booth, мысах Perez, Rasmussen, Tuxen (побережье Антарктического полуострова), а также на удалённом от них острове King-George. Наибольшее количество металлрезистентных микроорганизмов выявлено на среде с 1000 мг/л Cr(VI) – до  $5,0 \times 10^5$  клеток/г почвы и на среде с 250 мг/л  $\text{Ni}^{2+}$  –  $3,0\text{-}5,0 \times 10^5$  клеток/г почвы. Определены критические концентрации токсичных металлов для антарктических микроорганизмов:  $\text{Hg}^{2+}$  – 100 мг/л,  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  – 500 мг/л,  $\text{Co}^{2+}$  – 1000 мг/л. Для хрома этот показатель выше 2000 мг/л. Для анализа результатов частоты встречаемости металлрезистентных микроорганизмов использовали предложенный нами коэффициент репрезентативности (встречаемости)  $K_p$ , который позволяет комплексно охарактеризовать геообъекты, т.к. связывает два показателя: общее количество микроорганизмов и количество металлрезистентных микроорганизмов. Коэффициент  $K_p$  для никельрезистентных и медьрезистентных микроорганизмов практически одинаков на исследованных геообъектах. Высокие показатели  $K_p$  обнаружены на мысе Rasmussen и на о. Winter, а самые низкие – на о. Lippmann. Т.о., нами впервые показано, что устойчивость микроорганизмов к сверхвысоким концентрациям токсичных металлов является широко распространённым явлением в почвах внутреннего островного шельфа Западной Антарктики. Это заключение основано на: а) суперрезистентности и полирезистентности антарктических микроорганизмов к токсичным металлам ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , Cr(VI),  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ); б) высокой частоте встречаемости и значительном количестве металлрезистентных микроорганизмов в антарктической почве; в) распространении устойчивых к токсичным металлам микроорганизмов во всех исследованных почвах в зоне внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова протяжённостью 30Ч60 км.

**Ключевые слова:** Антарктика, микроорганизмы, токсичные металлы, устойчивость, полирезистентность.

**Реферат.** Мікроорганізми, суперрезистентні до токсичних металів, були виявлені в географічній зоні внутрішнього острівного шельфу Антарктичного півострова (30Ч60 км) на островах Darboux, Lippmann, Berthelot, Cruls, Barchans, Jalour, Uruguay, Scua, Three pigs, Winter, Grotto, Galindez, Pitermann, Booth, мисах Perez, Rasmussen, Tuxen (узбережжя Антарктичного півострова), а також на віддаленому від них о. King-George. Найбільшу кількість металрезистентних мікроорганізмів виявлено на середовищі з 1000 мг/л Cr(VI) – до  $5,0 \times 10^5$  клітин/г ґрунту і на середовищі з 250 мг нікелю/л –  $3,0\text{-}5,0 \times 10^5$  клітин/г ґрунту. Визначено критичні концентрації токсичних металів для антарктичних мікроорганізмів: 100 мг/л  $\text{Hg}^{2+}$ , 500 мг/л  $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{Ni}^{2+}$ , 1000 мг/л  $\text{Co}^{2+}$ . Для хрому цей показник вище 2000 мг/л. Для аналізу результатів використовували коефіцієнт репрезентативності  $K_p$ , який дозволяє комплексно характеризувати геооб'єкти. Високі показники  $K_p$  виявлено на мисі Rasmussen і на о. Winter, а найнижчі – на о. Lippmann. Таким чином, нами вперше показано, що стійкість мікроорганізмів до надвисоких концентрацій токсичних металів є широко поширеним явищем у ґрунтах Антарктики. Цей висновок основано на: а) суперрезистентності і полірезистентності антарктичних мікроорганізмів до токсичних металів ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , Cr(VI),  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ); б) значній кількості металрезистентних мікроорганізмів в антарктичному ґрунті; в) розповсюдженні стійких до токсичних металів мікроорганізмів у всіх досліджених ґрунтах в зоні внутрішнього острівного шельфу Антарктичного півострова протяжністю 30Ч60 км.

**Ключові слова:** Антарктика, мікроорганізми, токсичні метали, стійкість, полірезистентність.

## 1. Введение

Явление устойчивости антарктических микроорганизмов к токсичным металлам – один из наименее изученных аспектов антарктической микробиологии. Лишь в отдельных публикациях приведены данные относительно устойчивости к металлам бактерий, выделенных из воды и льда (De Souza et al., 2006). Ранее в антарктических образцах, отобранных на биогеографическом полигоне о. Галиндез, нами были обнаружены микроорганизмы, устойчивые к широкому спектру токсичных металлов (Таширев А.Б. и др., 2007). Вместе с тем представляет интерес изучение распространения устойчивых к токсичным металлам микроорганизмов в других географических зонах Антарктики. В связи с этим целью работы было изучение распространения металлрезистентных микроорганизмов на островах внутреннего шельфа и на побережье Антарктического полуострова (размером 30460 км).

## 2. Методы и материалы

*Объектами исследований* были аэробные гетеротрофные микроорганизмы, которые выделялись из нативных и замороженных (-20°C) образцов почв, отобранных во время 13-й антарктической экспедиции на географических объектах (далее в тексте используется термин «геообъекты») внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова.

*Приготовление растворов токсичных металлов.* Токсичные металлы вносили в виде растворов солей  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Необходимые концентрации токсичных металлов в питательной среде получали разбавлением исходных растворов: 20 г/л для  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}(\text{VI})$  и 4 г/л для  $\text{Hg}^{2+}$  (в пересчете на катион металла). Нитрат ртути получали растворением 1 г металлической ртути в 5,0 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$ . Раствор упаривали на водяной бане, а затем  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  растворяли в дистиллированной воде и доводили объем до 1 л. Растворы ионов металлов стерилизовали в течение 20 мин на кипящей водяной бане, затем охлаждали до 30°C и вносили в стерильных условиях в питательную среду до необходимой конечной концентрации.

*Выявление металлрезистентных микроорганизмов* в образцах проводили на жидкой питательной среде стандартными методами. 0,1 г образца помещали в пробирку, которая содержала 10 мл среды NB («Nutrient Broth, HiMedia Laboratories Pvt. Ltd, США) с токсичными металлами и культивировали в стационарных условиях при температуре +20°C. Использовали такие концентрации токсичных металлов в пересчете на катион (мг/л):  $\text{Hg}^{2+}$  – 100 и 200;  $\text{Cu}^{2+}$  – 500 и 1000;  $\text{Ni}^{2+}$  – 1000 и 2000;  $\text{Co}^{2+}$  – 1000 и 2000,  $\text{Cr}(\text{VI})$  – 2000 и 5000. Наличие роста микроорганизмов определяли через 3–14 суток по оптической плотности культуральной жидкости. Контролем токсичности сред с металлами служило отсутствие роста *E.coli* УКМ В-906, чувствительного к металлам.

*Количество металлрезистентных и общее количество хемоорганотрофных микроорганизмов* в исследуемых образцах определяли методом высева последовательных разведений на агаризованные среды. К растертым в фарфоровой ступке образцам (1 г) добавляли физраствор (10 мл) и перемешивали (1 час). Затем десятикратные разведения высевали на агаризованную среду NA (Nutrient Agar, фирма HiMedia Laboratories Pvt. Ltd, США), которая содержала токсичные металлы (мг/л):  $\text{Hg}^{2+}$  – 50 и 100,  $\text{Cu}^{2+}$  – 250 и 500,  $\text{Ni}^{2+}$  – 250 и 500,  $\text{Co}^{2+}$  – 500 и 1000,  $\text{Cr}(\text{VI})$  – 1000 и 2000. Для определения общего количества микроорганизмов эти же разведения высевали на агаризованную среду без металлов. Культивирование проводили при +20°C. Подсчет колоний проводили в течение 7–10 суток. Морфотипы колоний подсчитывали в чашках, где их общее количество не превышало 50-ти. Основными критериями для определения морфотипов колоний служили такие их свойства: форма, размер, консистенция, пигментация, синтез водорастворимого пигмента, наличие внеклеточной слизи, наличие воздушного и субстратного мицелия. Отдельные колонии отбирали и пересевали на ту же среду для хранения их в лабораторных условиях.

Частоту встречаемости металлрезистентных микроорганизмов определяли с помощью предложенного нами коэффициента репрезентативности  $K_p$ . Этот показатель вычисляли как соотношение количества металлрезистентных микроорганизмов в 1 г образца и общего количества микроорганизмов, выделенных на среде без металлов:

$$K_p = (N_{мет} : N_{кон}) 100 \%,$$

где  $K_p$  – коэффициент репрезентативности;  $N_{мет}$  – количество клеток на среде с металлом;  $N_{кон}$  – количество клеток на среде без металлов.

Полирезистентность микроорганизмов к металлам определяли путем высева репрезентативных штаммов на агаризованные среды, каждая из которых содержала по одному токсичному металлу (мг/л):  $Hg^{2+}$  – 50;  $Cu^{2+}$  – 250;  $Ni^{2+}$  – 250;  $Co^{2+}$  – 500;  $Cr(VI)$  – 1000.

### 3. Результаты и их обсуждение

Распространение металлрезистентных микроорганизмов на островах внутреннего шельфа Антарктического полуострова. Исследованная зона протяжённостью 60 км (с севера на юг) и 30 км (с запада на восток) включает острова в проливе Penola и мысы на Антарктическом полуострове. Изучено 18 биогеографических объектов: острова Darboux, Galindez, Skua, Barchans, Uruguay, Jalour, Petermann, Berthelot, Cruls, Booth, Grotto, Three pigs, Winter, Lippmann, мысы Rasmussen, Tuxen и Perez. Образцы также отбирались на о. King-George, который значительно удален от основной исследованной зоны.

Для выявления металлрезистентных микроорганизмов проведен скрининг почвенных образцов на жидкой питательной среде. Установлено, что в исследуемой зоне Антарктики широко распространены микроорганизмы, суперустойчивые к 500 мг/л  $Cu^{2+}$  и 2000 мг/л  $Cr(VI)$  (рис. 1). Обращает на себя внимание то, что резистентные микроорганизмы были обнаружены в 50–70% образцов даже при наличии в среде 5000 мг/л хрома, и/или 1000 мг/л меди, и/или 1000 мг/л кобальта. Такие данные свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне устойчивости

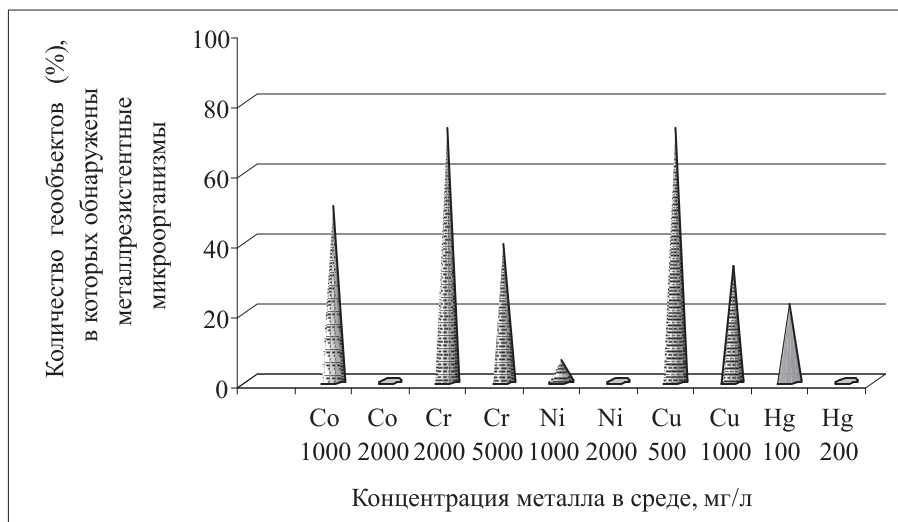


Рис. 1. Количество геобъектов (%) внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова, в которых выявлены микроорганизмы, устойчивые к указанным концентрациям токсичных металлов.

антарктических микроорганизмов к хрому, «высокопотенциальному», а потому и очень токсичному металлу-окислителю ( $E_o' = +555$  мВ для реакции восстановления  $\text{CrO}_4^{2-}$  до  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ), а также к меди, металлу, который совмещает в себе свойства как металла-заместителя, так и металла окислителя ( $E_o' = +440$  мВ для реакции восстановления  $\text{Cu}^{2+}$  до  $\text{Cu}_2\text{O}$ ), что обсуждалось ранее в работе (Таширев А.Б и др., 2008). Наиболее токсичными для почвенных микроорганизмов оказались такие металлы, как  $\text{Hg}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$ .

В целом микроорганизмы, суперрезистентные к токсичным металлам, были выявлены на всех исследованных геобъектах Антарктики. Поэтому далее мы определяли количественную характеристику металлрезистентных микроорганизмов в некоторых регионах Антарктики.

*Количественный учет металлрезистентных микроорганизмов* был проведен в почве четырех геобъектов (острова Darboux, Lippmann, Winter и мыс Rasmussen) методом рассева образцов на агаризованную среду с различными металлами. Наиболее высокое количество металлрезистентных микроорганизмов выявлено на среде с 1000 мг хрома/л – до  $5,0 \times 10^5$  клеток/г почвы, и на среде с 250 мг никеля/л –  $3,0-5,0 \times 10^5$  клеток/г почвы (табл. 1). При более высоких концентрациях этих металлов в среде количество клеток меньше, хотя на отдельных геобъектах (например, о. Winter) количество устойчивых к хрому микроорганизмов практически не снижалось. Т.о., антарктические почвенные микроорганизмы проявляли значительную резистентность к высоким концентрациям Cr(VI).

Вместе с тем количество микроорганизмов при 50 мг ртути/л среды было в пределах  $1,0-3,0 \times 10^2$ , а уже при концентрации 100 мг/л ртутьрезистентные микроорганизмы были обнаружены только на о. Lippmann (табл. 1). Для наглядности на рисунке 2 приведено количество металлустойчивых микроорганизмов, которые выявлены в почве о. Darboux.

Таблица 1

**Количество металлрезистентных микроорганизмов, выявленных в почвенных образцах**

Металл (мг/л среды)	Количество металлрезистентных микроорганизмов в 1 г почвы			
	о. Darboux	мыс Rasmussen	о. Winter	о. Lippmann
Co (500)	$1,3 \times 10^4$	$4,1 \times 10^4$	$2,1 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$
Co (1000)	$2,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^2$	но	но
Ni (250)	$3,5 \times 10^5$	$3,5 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$	$5,0 \times 10^5$
Ni (500)	но	но	$6,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$
Cr (1000)	$3,0 \times 10^4$	$6,0 \times 10^4$	$5,6 \times 10^5$	$4,2 \times 10^4$
Cr (2000)	$2,1 \times 10^3$	$6,0 \times 10^4$	$2,8 \times 10^5$	но
Cu (250)	$2,7 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$	но
Cu (500)	$9,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^2$	но
Hg (50)	$1,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$	$2,5 \times 10^3$	$9,0 \times 10^2$
Hg (100)	но	но	но	$2,0 \times 10^2$
Без металлов	$1,0 \times 10^7$	$8,0 \times 10^6$	$9,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^7$

Примечание: «но» – не обнаружены

В этих экспериментах определены критические концентрации токсичных металлов для антарктических микроорганизмов (в агаризованной среде): ртуть – 100 мг/л, медь – 500 мг/л и кобальт – 1000 мг/л (табл. 1). Для хрома и никеля этот показатель не определён, поскольку при использованных концентрациях этих металлов (рис. 2) выросло значительное количество микроорганизмов (от  $10^3$  до  $10^5$  клеток/г почвы). Установленные критические концентрации токсичных металлов для антарктических микроорганизмов выше на 1-2 порядка, чем для микрофлоры других регионов, что позволяет считать изолированные микроорганизмы перспективными для использования в биотехнологии очистки от металлов промышленных сточных вод.

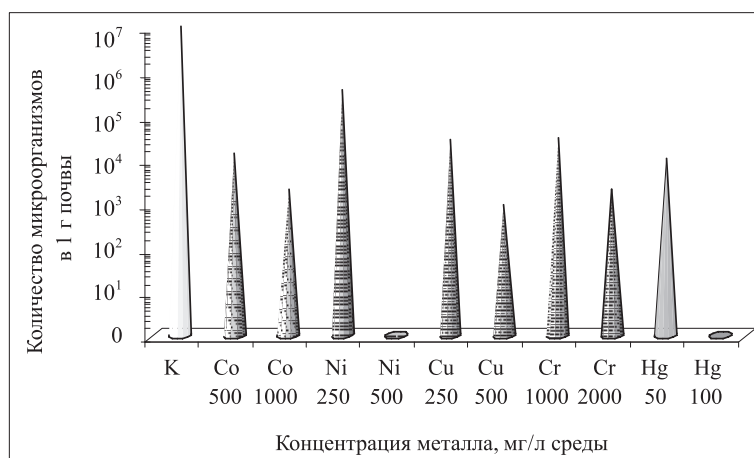


Рис. 2. Количество микроорганизмов, устойчивых к  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  в 1 г почвы острова Darboux (К – количество микроорганизмов на среде без металлов).

*Определение частоты встречаемости (коэффициента репрезентативности) металлрезистентных микроорганизмов.* Общее количество гетеротрофных микроорганизмов (на среде без металлов) было в пределах  $0,8\text{--}2,0 \times 10^7$  клеток/г почвы (табл. 1). Используя этот показатель и количество металлрезистентных антарктических микроорганизмов (табл. 1, мы вычисляли коэффициент репрезентативности (встречаемости) металлрезистентных микроорганизмов –  $K_p$  (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициент репрезентативности металлрезистентных микроорганизмов на четырех исследованных геобъектах Антарктики**

Металл (мг/л среды)	$K_p$ металлрезистентных микроорганизмов, %			
	о. Darboux	мыс Rasmussen	о. Winter	о. Lippmann
Co (500)	0,13	0,51	0,002	0,003
Co (1000)	0,02	0,006	-	-
Ni (250)	3,50	4,37	2,78	2,50
Ni (500)	-	-	0,007	0,025
Cr (1000)	0,30	0,75	6,22	0,21
Cr (2000)	0,021	0,75	3,11	-
Cu (250)	0,270	0,200	0,17	-
Cu (500)	0,009	0,01	0,01	-
Hg (50)	0,10	0,25	0,028	0,005
Hg (100)	-	-	-	0,001

Примечание: «-» – не рассчитывали, т.к. на этих геобъектах не были обнаружены микроорганизмы, резистентные к указанным металлам

Показатель  $K_p$  позволяет комплексно охарактеризовать явление металлрезистентности микроорганизмов. Показано, что  $K_p$  никельрезистентных микроорганизмов практически одинаков на исследованных геообъектах. Аналогичные показатели получены и для медьрезистентных микроорганизмов, но с более низким значением (табл. 2). Эта закономерность отчётливо видна на рисунке 3. Если сравнивать между собой геообъекты, то самые высокие показатели  $K_p$  обнаружены на мысе Rasmussen и на о. Winter, а самые низкие – на о. Lippmann (рис. 3).

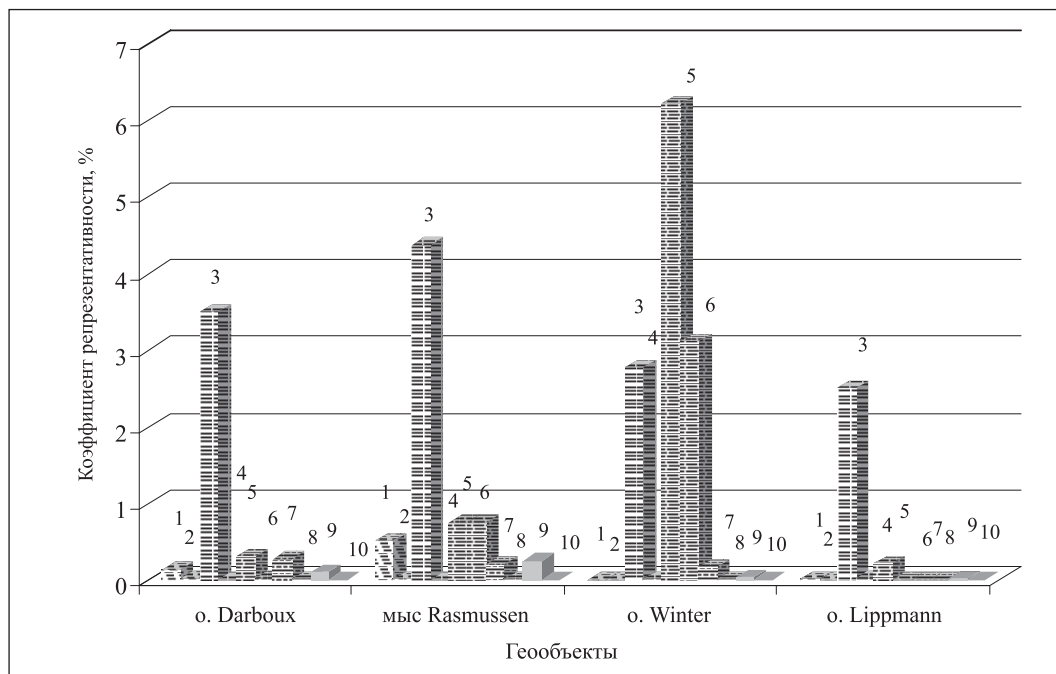
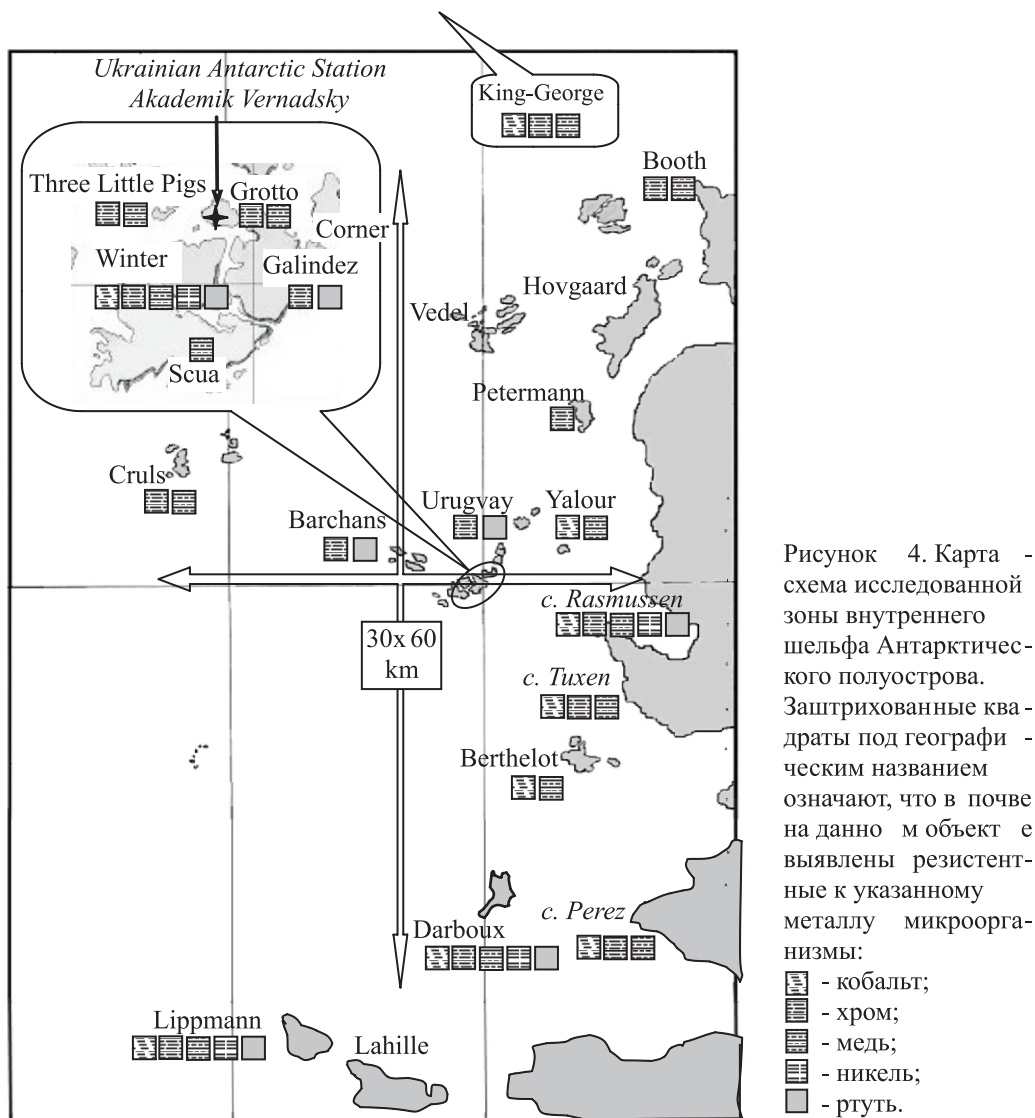


Рис. 3. Коэффициенты репрезентативности ( $K_p$ ) антарктических металлрезистентных микроорганизмов. Цифры над столбиками означают металл и его концентрацию (мг/л) в среде: 1 – Co (500), 2 – Co (1000), 3 – Ni (250), 4 – Ni (500), 5 – Cr (1000), 6 – Cr (2000), 7 – Cu (250), 8 – Cu (500), 9 – Hg (50), 10 – Hg (100).

В целом коэффициент  $K_p$  дает представление об относительной частоте встречаемости металлрезистентных микроорганизмов и позволяет комплексно охарактеризовать геообъекты, т.к. является производным двух характеристик: общего количества микроорганизмов в образце и количества среди них металлрезистентных микроорганизмов.

Таким образом, полученные результаты микробиологического анализа почвенных образцов показали, что в исследованной биогеографической зоне на всех 18 геообъектах островного шельфа обнаружены микроорганизмы, устойчивые к высоким концентрациям токсичных металлов ( $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr(VI)$ ). На карте-схеме (рис. 4) приведена исследованная нами географическая зона внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова (30Ч60км), где обозначены изученные геообъекты. Как следует из данной схемы, на всех исследованных геообъектах Антарктики (15 островов и 3 мыса Антарктического полуострова) были выявлены металлрезистентные микроорганизмы.



*Полирезистентность антарктических микроорганизмов.* В результате проведенного микробиологического анализа почвенных образцов, отобранных на 18 геообъектах внутреннего шельфа Антарктического полуострова, нами создана коллекция металлрезистентных микроорганизмов (50 штаммов). У 21 штамма, произвольно выбранного из этой коллекции, была исследована способность расти в присутствии разных токсичных металлов (табл. 3). Полирезистентность микроорганизмов определяли путем высева штаммов на агаризованные среды, каждая из которых содержала по одному токсичному металлу в такой концентрации (мг/л):  $Hg^{2+}$  – 50;  $Cu^{2+}$  – 250;  $Ni^{2+}$  – 250,  $Co^{2+}$  – 500 и  $Cr(VI)$  – 1000. Показано, что 5 штаммов проявляют устойчивость ко всем пяти металлам, к четырем металлам проявляют устойчивость 10 штаммов и к трем металлам – 5 штаммов (один штамм не проявил полирезистентности, то есть был устойчив только к одному металлу) (рис. 5).

Таширев А.Б.: РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТАЛЛРЕЗИСТЕНТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОСТРОВАХ...

Обращает на себя внимание то, что все исследуемые микроорганизмы, выделенные на среде со ртутью, оказались устойчивыми также и к меди. С другой стороны – все медьрезистентные микроорганизмы были устойчивы ко ртути. Эти данные позволяют предположить, что, возможно, выделенные штаммы имеют схожие механизмы устойчивости к  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Hg}^{2+}$ .

Таблица 3

**Полирезистентность к токсичным металлам  
изолированных антарктических почвенных микроорганизмов**

№ штамма (концентрация металла, при которой был выделен микроорганизм, мг/л)	Резистентность (R) и чувствительность (S) микроорганизмов при наличии в среде металла (мг/л)				
	Ni <sup>2+</sup> (250)	Cu <sup>2+</sup> (250)	Cr(IV) (1000)	Co <sup>2+</sup> (500)	Hg <sup>2+</sup> (50)
Резистентность к 5-ти металлам					
461(Ni <sup>R 500</sup> ); 365(Cu <sup>R 250</sup> ); 331(Cu <sup>R 250</sup> ); 3216(Co <sup>R 500</sup> ); 151(Hg <sup>R 50</sup> )	R	R	R	R	R
Резистентность к 4-м металлам					
3215(Ni <sup>R 500</sup> )	R	R	R	R	S
121(Cu <sup>R 250</sup> ); 141(Hg <sup>R 50</sup> ); 391(Hg <sup>R 50</sup> ); 381(Hg <sup>R 50</sup> ); 411(Hg <sup>R 100</sup> )	R	R	R	S	R
341(Cu <sup>R 250</sup> ); 3208(Co <sup>R 500</sup> ); 3218(Hg <sup>R 100</sup> ); 3217(Hg <sup>R 100</sup> )	R	R	S	R	R
Резистентность к 3-м металлам					
306(Cr <sup>R 1000</sup> )	R	S	R	S	R
542(Ni <sup>R 250</sup> ); 324(Cr <sup>R 1000</sup> ); 432(Cr <sup>R 1000</sup> ); 3223(Cr <sup>R 1000</sup> )	R	R	R	S	S

Примечание: R – наличие роста, S – отсутствие роста.

Следует отметить, что и для штаммов микроорганизмов, изолированных из образцов полигона о. Галиндез (сезонные экспедиции 2001–2008 гг.), также присуща полирезистентность к металлам (Таширев А. Б. и др., 2007).

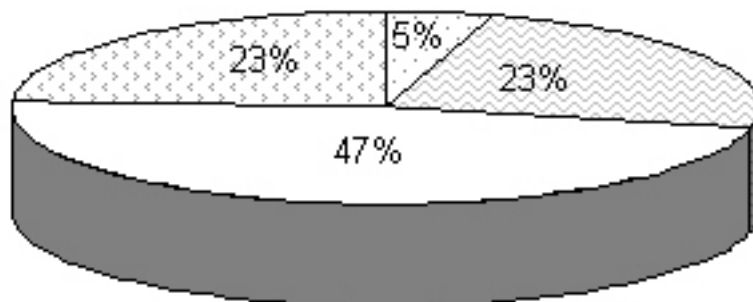


Рисунок 5. Доля штаммов, характеризующихся полирезистентностью к металлам: 47% исследованных микроорганизмов устойчивы к пяти металлам, по 23% – к четырём и трём металлам (см. табл. 3), 5% – к одному.



Таширев А.Б.: РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТАЛЛРЕЗИСТЕНТНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОСТРОВАХ...

Таким образом, нами впервые показано, что устойчивость микроорганизмов к сверхвысоким концентрациям токсичных металлов является широко распространенным явлением в почвах внутреннего островного шельфа Западной Антарктики. Это заключение основано на: а) суперрезистентности и полирезистентности антарктических микроорганизмов к токсичным металлам ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ); б) высокой частоте встречаемости и значительном количестве металлрезистентных микроорганизмов в антарктической почве; в) распространении устойчивых к токсичным металлам микроорганизмов во всех исследованных почвах в зоне внутреннего островного шельфа Антарктического полуострова протяженностью 30460 км.

### Литература

1. **Таширев А.Б., Галинкер Э.В., Андреюк Е.И.** Термодинамическое прогнозирование редокс-взаимодействия микроорганизмов с металлами-окислителями ( $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ ) // Доповіді Національної Академії наук України. – 2008. – № 4. – С. 166–172.
2. **Таширев А.Б., Матвеева Н.А., Романовская В.А.** и др. Полирезистентность и сверхустойчивость к тяжёлым металлам антарктических микроорганизмов // Доповіді Національної Академії наук України. – 2007. № 11. – С. 70–75.
3. **De Souza M.J., Nair S., Loka Bharathi P.A.** et al. Metal and antibiotic-resistance in psychrotrophic bacteria from Antarctic Marine waters // Ecotoxicology. – 2006. – 15, № 4. – P. 379–384.