

P14-2002-110

Л. А. Церцвадзе¹, Т. Д. Дзадзамия¹, Ш. Г. Петриашвили¹,
Д. Г. Чуткерашвили¹, Е. И. Киркесали²,
М. В. Фронтасьева, С. С. Павлов, С. Ф. Гундорина

**БИОСОРБЦИЯ МЕТАЛЛОВ
ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
БАКТЕРИАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ**

Направлено в журнал «Прикладная биохимия и микробиология»

¹Грузинский технический университет Министерства образования
Грузии, Тбилиси

²Институт физики им. Э. Л. Андроникашвили АН Грузии, Тбилиси

Введение

В основе биосорбции, или извлечения металлов из растворов с помощью биосорбентов, лежат процессы взаимодействия с поверхностными структурами клеток, их метаболитов и экзополимеров. К биосорбентам относятся различные биологически активные клетки, как живые, так и отмершие – бактерии, водоросли, растения, грибы и т.д. Биосорбенты способны селективно аккумулировать на своей поверхности ионы металлов. Они ведут себя аналогично физико-химическим поверхностно-активным веществам, таким, как ионообменные смолы, природные цеолиты, гидроапатиты и др.

Сорбция различается активная и пассивная. Активная сорбция происходит за счет метаболических процессов включения металлов в структуры клеток. При этом скорость ионного обмена довольно низкая. Пассивная сорбция происходит на поверхности клеток и объясняется физико-химическими взаимодействиями ионов металлов с ионообменными группами клеточных мембран. При этом процесс идет сравнительно быстро – за несколько часов.

Способность сорбента аккумулировать металлы характеризуется величиной, называемой сорбционной емкостью биомассы. Сорбционная емкость биомассы – это количество адсорбированного металла в мг или мМоль, приходящиеся на 1 г биомассы. Обычно это усредненная величина, т.к. реальное значение емкости может меняться в широких пределах.

Исследованию биосорбции посвящено много работ [1–11]. Изучение сорбции серебра клетками *Candida utilis* из азотнокислых растворов описано в работе [6], в которой приведены очень интересные микрофотографии клеток с закрепленными на них гранулами серебра. Показано, что число клеток, адсорбирующих Ag, составляет 14–40 % от общего числа, а с повышением температуры увеличивается и достигает 23–40 %. Корреляционный анализ результатов исследований показывает, что существует связь между количеством адсорбированного клетками серебра и содержанием в них фосфора. Высказывается предположение, что ионы Ag активно взаимодействуют с фосфоросодержащими компонентами клеток. Такая же корреляция сорбции с содержанием фосфора наблюдается и для урана [10].

В работе [7] описана селективная сорбция молибдена бактериями *Rhizopus arrhizus* с высокой емкостью биомассы – 180 мг/г при pH 1,5–2,5. Наиболее быстро сорбция идет в первые 15–20 мин, а через 4–6 часов наблюдается равновесие между содержанием Mo в растворе и в биомассе.

При совместной биоаккумуляции Mo и W из сернокислых растворов биомассой *Candida valida* при pH 0,9-4,6 извлечение обоих металлов достигает 88–100%. Причем возможно и их раздельное выделение так как при pH 5,3–5,9 извлечение молибдена снижается до 17-0%, в то время как извлечение вольфрама составляет 74–41 %.

Перспективность выделения золота из растворов с помощью биосорбции показана в трудах [4,12]. В работе [12] описаны уникальные способности микроорганизмов *Pedomicrobium* из речных конкреций адсорбировать на своей поверхности золото и образовывать гранулы вокруг себя.

Некоторые методы биосорбции, предназначенные для применения в промышленности, приводятся в работе [1]. Экзополисахариды бактерий *Zoogloca ramigera* использовались для выделения меди, кадмия и урана из раствора, содержащего соли этих металлов. Сорбция каждого металла в отдельности происходит при разных значениях pH – 3,5; 5,5 и 6,5 для U, Cd и Cu соответственно. Время сорбции при перемешивании 800 об/мин составляло 15 мин.

Для очистки сточных вод от урана применяется эмульсан, получаемый с помощью культуры *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 (ATCC 31012). Эмульсан – это экологически безопасный препарат, который не содержит фосфора, не токсичен, легко подвергается деградации и может быть использован в технологических схемах очистки сточных вод.

Очистка сточных вод от урана и нитратов может также осуществляться с помощью биомассы денитрифицирующих бактерий, иммобилизованной на частицах каменного угля. За время контакта 8 мин сорбируется до 98% урана, а нитраты с помощью денитрофицирующих бактерий преобразуются с образованием газообразного азота. Мицелла *Penicillium chrysogenum* из отходов производства антибиотиков, подвергаясь обработке мочевиноформальдегидным поликонденсатом, дает твердый продукт, называемый биосорбентом М. Этот препарат очень эффективен при очистке сточных вод от радиоактивных элементов. Механизм связывания радиоактивных элементов биосорбентом М определяется тремя процессами: реакцией замещения ионов, комплексобразованием и сорбционным осаждением.

Цветные и благородные металлы хорошо сорбирует американский биопрепарат АМГ-биоклеим. Для него предложена промышленная технологическая схема и пилотная установка.

Однако следует отметить, что биосорбция еще недостаточно широко используется на производстве, так как большинство работ носят исследовательский характер, подготовка сорбентов зачастую связана с трудностями и требует дополнительных средств.

Целью данной работы являлась разработка методики использования некоторых природных дешевых биосорбентов, характерных для Грузии, и исследование их способности выделять из растворов тяжелые и радиоактивные металлы.

Материалы и методы

Выбор природных биосорбентов для реабилитации промышленных растворов со сложным многокомпонентным составом обуславливался следующими требованиями:

- способность активной сорбции ионов тяжелых металлов и радионуклидов;
- низкая себестоимость и энергоемкость технологии;
- наличие доступных природных биосорбентов вблизи промышленных разработок;
- возможность осуществления технологических схем с биосорбентами непосредственно на производственных или очищаемых территориях;
- минимальное количество собственных отходов биотехнологии.

Исходя из этих требований для решения промышленных задач Грузии были выбраны следующие биологические сорбенты: мох, семена чайного куста, зеленые листья чая, отходы чайного производства и микроорганизмы – плесневые грибы *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum*. Выбор был обусловлен распространенностью этих материалов в субтропических регионах Грузии, легкостью их обработки и доступностью использования на промышленных объектах.

Листья чая, семена и отходы чайного производства высушивались при комнатной температуре 25–26 °С. Мхи очищались и также высушивались при такой же температуре. Биомасса плесневых грибов высушивалась при температуре 200–250 °С в течение 2 часов.

В качестве экспериментальных растворов для взаимодействия с биосорбентами использовались многокомпонентные биологические растворы, полученные в результате бактериального выщелачивания руд и горных пород с помощью микробного сообщества торфяной суспензии. Подробное описание этой технологии приведено нами в работе [13]. В экспериментах использовались растворы, обогащенные металлами, после контакта с выщелачиваемым субстратом в течение 20 суток и трех месяцев.

На основании предварительных экспериментов было установлено, что микроорганизмы биологически выщелоченных растворов, а также их высокая кислотность могут оказывать на биомассу сорбентов агрессивное влияние и способствовать выщелачиванию из них минеральных веществ. Поэтому для устранения такого воздействия экспериментальные биологические растворы в некоторых случаях предварительно подвергались пастеризации при температуре 80 °С в течение 10 мин, а в других нейтрализовались до pH 7,0 раствором NaOH. По той же причине биологические адсорбенты предварительно подвергали так называемой «очистке» с помощью исходного торфяного экстракта для удаления содержащихся в них металлов.

Методика «очистки» заключалась в следующем. В сосуды с изначальным раствором торфяной суспензии, объемом 300 мл, помещалось по 60 мг соответствующего сорбента при отношении твердой фазы к жидкой Т:Ж=1:5. Такая смесь находилась в статическом состоянии в течение 24 часов, после чего биомасса сорбентов отделялась от раствора, промывалась и высушивалась.

Определение элементного состава проб растворов и сорбентов после проведения экспериментов проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и методом эпитеплового нейтронного активационного анализа (ЭНАА).

Методом ААС анализировались пробы растворов до и после взаимодействия с выщелоченными растворами.

Метод нейтронного активационного анализа на эпитепловых нейтронах был и ранее использован нами в исследованиях по бактериальному выщелачиванию [13]. Анализ проводился в лаборатории активационного анализа ЛНФ ОИЯИ (Дубна) с использованием импульсного быстрого реактора ИБР-2, полупроводниковых Ge(Li)-детекторов, спектрометрической аппаратуры и программного обеспечения, разработанного специально для решения аналитических задач экологии, биотехнологии др. [14,15].

Эксперимент

При проведении экспериментов сорбенты измельчались до частиц с размерами < 1 мм и помещались в делительные воронки по 20 г в каждую. Затем каждая навеска заливалась 60 мл обогащенного металлами раствора, полученного в процессе выщелачивания той или иной породы, так, что соотношение Т:Ж=1:3. Исключение составляли плесневые грибы, для которых отношение Т:Ж=1:20. Выдержка сорбентов с раствором проводилась в течение 2 суток. После этого открывались краны воронок и начиналась фильтрация растворов через слой сорбентов. Время и скорость фильтрации, зависящие от вида сорбента и вязкости образованного раствора, во всех случаях были различны. Все эксперименты проводились при комнатной температуре 25–26 °С.

В случае использования грибов *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum* в качестве сорбентов их предварительно культивировали в растворах торфяной суспензии. После культивации биомасса отделялась от раствора, высушивалась при температуре 20 °С и в таком виде использовалось в качестве сорбента в разделительной воронке вместе с исходным выщелоченным раствором. В некоторых биологических растворах были засеяны и искусственно выращены грибы *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum*. Целью этого эксперимента являлось изучение поглощения ионов тяжелых металлов в процессе прорастания живых организмов.

Подготовка проб для анализа проводилась следующим образом: после тщательной промывки отработанного адсорбента дистиллированной водой твердая и жидкая фаза разделялись фильтрованием, полученный раствор выпаривался и оставшийся твердый остаток передавался на анализ. На анализ

передавалась также и высушенная твердая фаза – адсорбент. Исключение составляли плесневые грибы (*Aspergillus niger* и *Penicillium notatum*), засеянные непосредственно в выщелоченных растворах – там определялось содержание металлов только в самой высушенной массе грибов.

Обсуждение результатов

В ходе экспериментов исследовалось поведение различных биосорбентов с различными типами контактных растворов, полученных при выщелачивании руд, горных пород и отходов промышленных производств Грузии. Исследования показали, что рассматриваемые виды сорбентов (семена чая, зеленые листья чая, отходы чайного производства, мох и микроорганизмы *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum*) способны извлекать тяжелые и радиоактивные металлы из многокомпонентных растворов в той или иной степени. При этом сорбционная емкость каждого из сорбентов в различных условиях разная и зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются:

- химический состав многокомпонентного раствора ;
- концентрация сорбируемого металла в растворе;
- содержание того же металла в сорбенте;
- степень активности микроорганизмов и их метаболитов, присутствующих в растворе;
- продолжительность контакта раствора и сорбента.

Эффективность применения разработанного метода для извлечения целого ряда тяжелых и радиоактивных металлов хорошо демонстрируется на примере анализа образцов зеленых листьев чая и семян чая, биомасса которых до и после сорбции исследовалась методом ЭНАА (табл. 1).

Зеленые листья чая показали особо высокую сорбционную способность по таким элементам, как Co, As, W, U и др., а семена чая – Sc, Cr, Fe, Sb, La, Sm, Tb, Th, U и др. Здесь следует отметить, что для Nd и Gd в биомассе зеленых листьев и для Sr, Ba и Yb в биомассе семян чая вместо сорбции наблюдалось уменьшение концентраций за счет перехода этих элементов в раствор, поэтому результаты для них в таблице не указаны.

В другой серии экспериментов степень сорбции металлов определялась с помощью анализа образцов растворов до и после контакта с зелеными листьями чая методом ААС (табл. 2). Уменьшение концентрации металлов в образцах растворов после сорбции свидетельствовало об эффективности применяемого метода. С разной степенью для исследуемых образцов выделялись те металлы, концентрации которых указаны в табл. 2. В остальных случаях наблюдалось обогащение растворов.

Высокую способность сорбции всех металлов, исследуемых методом ААС (Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Li, Cd), показали микроорганизмы *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum* (табл. 3). Как видно из табл. 3, во всех, без исключения,

случаях наблюдалось уменьшение концентраций всех металлов в растворах исследованных образцов.

Здесь следует отметить, что исследуемые нами растворы сами являются бактериальными и содержат металлы как в ионной, так и в других формах. Для объяснения высокой степени адсорбции *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum* можно предположить, что они способны взаимодействовать с металлами не только с помощью ионного обмена, но и сорбировать коллоидные формы. Это объяснение хорошо согласуется со способностью свободных белковых функциональных групп ионизироваться в растворах и взаимодействовать с коллоидами под действием электростатических сил.

На рис. 1 приведена диаграмма, иллюстрирующая эффективность извлечения радиоактивных элементов (Th и U) из выщелоченного раствора песчаного спонголита различными биосорбентами. Как видно из диаграммы, торий лучше всех сорбируется микроскопическим грибом – *Aspergillus*, а уран – мхом.

С целью проведения сравнения эффективности сорбции различных сорбентов, на основании всех результатов исследований, полученных методом ААС для растворов, были определены средние значения относительных величин поглощения металлов (Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Li Cd) соответствующими сорбентами, которые показаны на диаграмме рис. 2.

Выводы

1. Исследованные биосорбенты: чай (зеленые листья, семена, отходы производства), мох, грибы (*Aspergillus niger* и *Penicillium*) – в той или иной степени пригодны для сорбции тяжелых и радиоактивных металлов из промышленных многокомпонентных растворов.
2. Методом ЭНАА исследованы образцы биомассы сорбентов и определены концентрации таких металлов, как Sc, Cr, Fe, Co, Ba, La, W, Ce, Nd, Sm, Yb, Ni, Eu, As, Sr, Sb, Tb, Lu, U, Th.
3. Методом ААС исследованы растворы до и после обработки биосорбентами и определены концентрации Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Ni, Li, Cd.
4. Установлено, что степень извлечения каждого из металлов зависит от состава раствора и сорбента, времени контакта и других факторов.
5. Рассмотренные биосорбенты дешевы и легкодоступны в условиях Грузии, методика извлечения металлов проста и осуществима в условиях производства без особых затрат.

Разработанный метод может быть использован как для извлечения металлов из растворов, полученных после бактериального выщелачивания, так и для очистки промышленных растворов других производств.

Таблица 1. Результаты исследования биомассы сорбентов методом ЭНАА

Элемент	Зеленые листья чая					Семена чая				
	Исходная концен. мкг/г	Погрешность %	Концен. после сорбции мкг/г	Погрешность %	Сорбция %	Исходная концен. мкг/г	Погрешность %	Концен. после сорбции мкг/г	Погрешность %	Сорбция %
Sc	0.13	8	0.3	8	231	0.03	8	0.66	8	2200
Cr	0.61	15	0.9	15	148	0.07	15	1.92	15	2743
Fe	227	8	1068	8	470	23	8	1135	8	4935
Co	0.3	5	5.66	5	1887	0.25	5	1.27	5	508
Ni	5.11	20	18.15	20	355	2.82	20	6.34	20	225
As	0.16	8	1.67	8	1044	0.03	8	0.13	8	433
Sr	86.31	10	150.1	10	174					
Sb	0.034	20	0.081	20	238	0.004	20	0.079	20	1975
Ba	63.9	20	73.6	20	115					
La	0.439	15	0.62	15	141	0.011	15	0.882	15	8018
W	0.058	50	0.428	11	738	0.014	63	0.043	42	307
Ce	0.98	15	1.21	15	123	-	-	3.46	15	
Nd						-	-	1.25	50	
Sm	0.041	20	0.075	20	183	0.001	20	0.389	20	38900
Eu	0.041	17	0.046	17	112	0.018	17	0.139	17	772
Gd						-	-	3.301	10	
Tb	0.004	52	0.01	31	250	0.0004	134	0.065	15	16250
Yb	-	-	0.124	19						
Lu	0.005	35	0.01	30	200	-	-	0.042	30	
Th	0.0497	21	0.0666	22	134	0.0105	49	0.2683	13	2555
U	0.004	25	0.062	25	1550	0.004	25	0.427	25	10675

Таблица 2. Содержание металлов в растворах до и после сорбции зелеными листьями чая, мг/л

№ № образцов	Концентрации металлов, мг/л																							
	Cu			Fe			Mn			Pb			Sr			Li			Ni			Cd		
	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%	исходный	после сорбции	%
01	100	8.5	91.5	216	17	92.1	400	390	2.5	0.17	0.1	41.2				0.05	-	100	-	-	-	-	-	-
03				224	след	100				след	-	-				0.33	0.29	12.2	-	-	-	-	-	-
05				1280	380	70.3				-	-	-				0.28	0.15	46.4	-	-	-	-	-	-
06				след	след	-										0.19	0.13	31.6	0.17	0.07	58.8	-	-	-
07				1.44	след	100				-	-	-				0.26	0.17	34.6	-	-	-	-	-	-
08				960	112	88.3				-	-	-	22.6	14.9	33.8	0.28	0.07	75	-	-	-	-	-	-
09	3.5	0.77	78	400	54	86.5				0.17	-	100				0.28	0.2	28.6	0.16	след	100	0.1	-	-
010	425	200	53	528	180	65.9				0.5	0.4	20										3.75	3	20
011	9600	8800	8.3	120	14.2	87.8				0.48	0.4	16.7												
012	5	1.97	60.3	3280	2280	30.5										0.45	0.3	33.4	-	-	-	-	-	-
013	340	79	76.8	1040	904	13										0.28	0.15	46.4	-	-	-	-	-	-
014				280	64	77.2				-	-	-				0.23	0.2	13.1	-	-	-	-	-	-
019				1120	480	57				12.5	0.65	94.8				0.33	0.14	57.6	-	-	-	0.06	след	-

Таблица 3. Содержание металлов в растворах после сорбции *Aspergillus niger* и *Penicillium notatum*, мг/л

Элементы	Номера образцов																		
	03-1		09-1		09-2		010-1		010-2		013-1		013-2		011-1		011-2		
	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	исх.	Asp.	
Cu	1.02	0.1	35	1.4	35	0.3	180	160	180	150	100	92	100	80	1000	200	1000	260	
Fe	1.6	след	208	-	208	0.64	208	4	208	4.64	880	1.12	880	4.96	11.52	-	11.52	след	
Mn	31	5.5	665	3	665	3.4	40.8	25.5	24.6	15.2	12.4	9.85	18	10	15.75	8	15.75	7.4	
Pb	-	-	0.06	след	0.06	след	0.2	0.12	0.2	0.14	0.28	0.16	0.32	0.18	0.44	0.22	0.44	0.28	
Sr	89.76	24.99	34.3	15.14	34.3	15.16	21.82	1672	22.18	16.72	66	16	66	20.4	26.4	21.7	26.4	21.1	
Li	0.56	0.47	0.27	0.17	0.27	0.17	0.16	0.14	0.16	0.16	0.18	0.06	0.18	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	
Cd	след	след	0.08	след	0.08	след	1.4	1.08	1.4	1.08	след	след	след	след	след	след	след	след	
<i>Концентрация, мг/л</i>																			

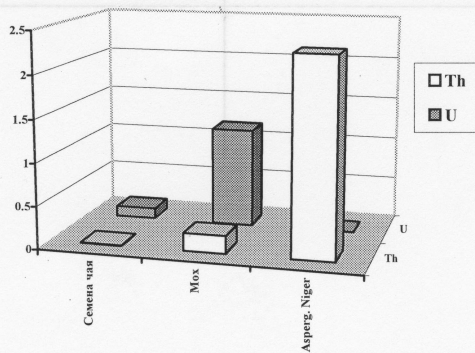


Рис. 1. Поглощение биосорбентами тория и урана из выщелоченного раствора песчаного спонга

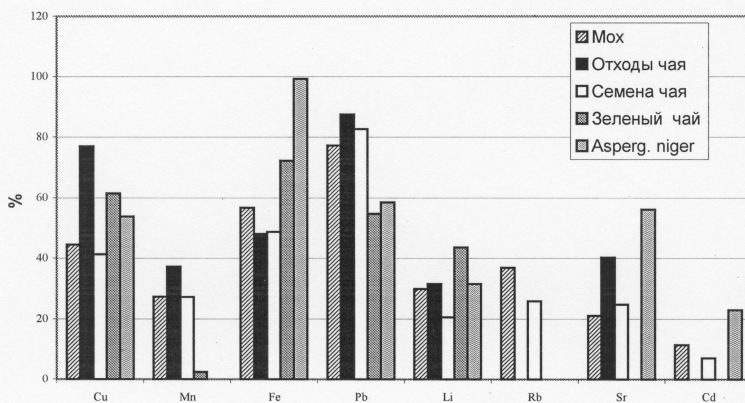


Рис. 2. Средние значения сорбции металлов различными биосорбентами, %

Литература

1. Биотехнология металлов. Ред. Г.И.Каравайко, Дж.Росси, А.Агате, С.Грудов, З.А.Авакян. Центр международных проектов ГКНТ. Москва. 1989.
2. M.R.Tolley, L.E.Macaskie. Bioaccumulation of Heavy Metals. Biohydrometallurgical Technologies. The Minerals, Metals and Materials Society. 1993.
3. С.И. Польшкин, Э.В.Адамов, В.В.Панин. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М., «Недра». 1982, 287с.
4. Г.Г. Минеев. Биометаллургия золота. М., Metallurgia. 1989.
5. А.В.Таширев, Г.Ф.Смирнова и др. Микробиология, т.59, №3, 1997, 70-79.
6. А.А.Корневский, В.В.Сорокин, Г.И.Каравайко. Микробиология, т.62, вып.6, 1993, 1085-1-92.
7. А.А.Корневский, Г.И.Каравайко. Микробиология, т.62, вып.4, 1993, 709-716.
8. L.T.Macaskie. An immobilized cells bioprocess for removal of heave metals from aquens flows. J. Chem. Technol. and Biotechnol. v.49, №4,1990, 357-379/
9. G.H.Gadd. Biosorption Chem. and Ind. v.13, 1990, 421-426.
10. F.Latudi. La precipitation des metaux lourds. Biofutur. №93, 1990, 36-37.
11. N.Friis, P.Myers-Keith. Biotechnology and Bioengineering. v.28, 1986, 21.
12. D.Palmer. Search is on for «gold» bacteria. New scientist, №962, 1995, 19.
13. Л.А.Церцвадзе, Т.Д.Дзадзамия, Ш.Г.Петриашвили, Д.Г.Чуткешавили, Е.И.Киркесали, М.В.Фронтасьева, С.С.Павлов, С.Ф.Гундорина. Разработка методики бактериального выщелачивания металлов из бедных руд, пород и промышленных отходов с использованием нейтронного активационного анализа. Препринт ОИЯИ Р14-2001-102. Дубна, 2001.
14. M.V.Frontasyeva, S.S.Pavlov. Analytical investigations at the IBR-2 reactor in Dubna. JINR Preprint, E14-2000-177, Dubna, 2000.
15. T.M.Ostrovnaya, L.S.Nefedieva, V.M.Nazarov, S.B.Borzacov and L.P.Strelcova. Software for INAA on the basis of relative and absolute method using nuclear data base. In: Activation analysis in environment protection. D14-93-325, Dubna, 1993, 319-326.

Получено 14 мая 2002 г.

Церцвадзе Л. А. и др.

P14-2002-110

Биосорбция металлов

из многокомпонентных бактериальных растворов

В работе описана методика извлечения металлов из промышленных растворов с помощью дешевых и легкодоступных в субтропических регионах биосорбентов, таких как продукты чайного производства, мох, микроорганизмы. В экспериментах использованы многокомпонентные растворы, полученные в процессах бактериального выщелачивания руд, горных пород и отходов производства с помощью торфяной суспензии. Многоэлементный анализ биомассы сорбентов и растворов проводился методом эпитеpmального нейтронного активационного анализа и атомно-абсорбционной спектроскопии. Полученные результаты показывают, что в той или иной степени применяемые биосорбенты пригодны для извлечения из промышленных растворов целого ряда тяжелых и радиоактивных металлов (U, Th, Cu, Mn, Fe, Pb, Li, Rb, Sr, Cd, As, Co и др.).

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ и в Грузинском техническом университете Министерства образования Грузии, Тбилиси.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2002

Перевод авторов

Tsertsvadze L. A. et al.

P14-2002-110

Biosorption of Metals

from Multi-Component Bacterial Solutions

The method of extraction of metals from industrial solutions by means of economical and easy to apply biosorbents in subtropics such as products of tea manufacturing, moss, microorganisms is described. The multi-component solutions obtained in the process of leaching of ores, rocks and industrial wastes by peat suspension were used in the experiments. The element composition of sorbent biomass and solutions was investigated by epithermal neutron activation analysis and by atomic absorption spectrometry. The results obtained evidence that the used biosorbents are applicable for extraction of the whole set of heavy metals and actinides (U, Th, Cu, Mn, Fe, Pb, Li, Rb, Sr, Cd, As, Co and others) from industrial solutions.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR, and at the Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2002

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Е. В. Сабоевой*

ЛР № 020579 от 23.06.97.

Подписано в печать 07.06.2002.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,86. Тираж 300 экз. Заказ № 53349.

**Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.**