

УДК579.22.+661.888.1+661.877

**Г.Ф. Смирнова, В.С. Подгорский**

*Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,  
ул. Академика Заболотного, 154, Киев, ГСП Д 03680, Украина*

### **ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА БАКТЕРИЙ, УСТОЙЧИВЫХ К ВЫСОКИМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ ХРОМАТОВ**

*Из различных экологических ниш изолировано 20 штаммов бактерий, устойчивых к высоким концентрациям хроматов и способных восстанавливать их до соединений трехвалентного хрома – нерастворимой гидроокиси хрома или растворимых кристаллогидратов трехвалентного хрома. Описаны особенности роста этих микроорганизмов на средах, содержащих хроматы в высоких концентрациях (до 20,0 г/л). Наряду с хроматами бактерии могут восстанавливать ванадаты до соединений четырехвалентного ванадия и молибдаты – до  $Mo^{5+}$ . Лучшее всего редукция происходит на средах, где источником углерода служит МПБ, глюкоза, этиловый спирт. На органических кислотах рост культур и восстановление кислородсодержащих анионов отсутствовали. Показано, что вольфраматы, хлораты и перхлораты в высоких концентрациях (до 10 г/л) не токсичны для изучаемых бактерий, однако не восстанавливаются этими микроорганизмами. Самые активные штаммы были отнесены к родам *Pseudomonas*, *Oerskovia*, *Bacillus*, *Micrococcus*.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: хроматрезистентные бактерии, кислородсодержащие анионы, бактериальное восстановление хроматов, хлоратов, перхлоратов, ванадатов, молибдатов.*

Годовое производство хрома достигает  $10^7$  тонн. Он используется в металлургической, химической, кожевенной и лакокрасочной отраслях промышленности, для хромирования металлических изделий. Такое широкое применение привело к тому, что хром стал одним из основных загрязняющих веществ почвы и воды.

Основным источником поступления хроматов в водоемы через сети водоотведения являются технологические сточные воды и отработанные растворы электролитов. При этом наиболее широкий спектр загрязнения по составу и концентрациям дают сточные воды гальванических производств. Более половины таких стоков поступают в городскую канализацию без очистки. Соединения шестивалентного хрома растворимы и чрезвычайно токсичны, поэтому, попадая на очистные сооружения, они в десятки раз снижают окислительную способность биоценозов аэротенков и метантенков.

Для очистки хроматсодержащих сточных вод используют в основном химические и физико-химические методы, которые требуют большого расхода реагентов, электроэнергии, вспомогательных материалов, в десятки раз увеличивают количество образующихся шламов и значительно повышают минерализацию очищенных вод. Это приводит к использованию огромных объемов питьевой воды для разведения обезвреженных стоков с целью соблюдения нормативов по солесодержанию для сброса в канализацию. Микробиологический метод очистки гальванических стоков основан на способности микроорганизмов переводить шестивалентный хром в трехвалентный с последующим выпадением гидроокиси хрома в осадок. Способ обладает рядом преимуществ:

- не увеличивает солесодержание очищенных вод;
- позволяет на 60-100% отказаться от вспомогательных материалов;
- снижает на 50-60% расходы электроэнергии

Это свидетельствует о его экономической привлекательности и экологической безопасности.

© Г.Ф. Смирнова, В.С. Подгорский, 2013

Хром – необходимый микроэлемент в метаболизме живых организмов, влияющий на нормальное функционирование жирового и углеводного обмена, регуляцию ферментных систем, стабилизацию нуклеиновых кислот. Хром существует в двух стабильных валентных состояниях  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{6+}$ . Токсичность зависит от валентного состояния хрома – шестивалентный хром в 1000 раз более токсичен, чем трехвалентный. Именно шестивалентный хром обуславливает мутагенное, онкогенное и тератогенное действия на живые организмы [16]. Для большинства живых организмов концентрация шестивалентного хрома в несколько миллиграммов в литре является токсичной. [17, 18]. Хроматы могут восстанавливаться химически [15, 18, 19] или при неспецифических биологических процессах [22]. Существует ряд сообщений о прямом ферментативном восстановлении хроматов [1, 9]. Наряду с бактериями, вовлеченными в процесс хроматредукции, были выделены бактерии, резистентные к высоким концентрациям хроматов, но не способные к его восстановлению. Хроматрезистентность в некоторых случаях коррелировала с наличием плазмидной ДНК [13, 14, 23].

Первые упоминания о хроматрезистентных бактериях, способных восстанавливать высокие концентрации хроматов, относятся к концу 70-х годов прошлого века [21]. Тогда же на основе хроматрезистентного штамма *Ps. fluorescens* был предложен способ очистки сточных вод [10].

Целью нашей работы было изучить распространение бактерий, устойчивых к высоким концентрациям хроматов, в разных экологических нишах, установить причину устойчивости, выяснить насколько часто высокая резистентность к хроматам сопряжена со способностью микроорганизмов восстанавливать  $\text{CrO}_4^{2-}$ , а также другие кислородсодержащие анионы (КСА), изучить характер роста изолированных микроорганизмов на хроматах и других КСА.

**Материалы и методы.** Выделение хроматрезистентных бактерий (ХРБ) проводили из сточных вод заводов, дренажных вод муниципальных свалок, содержимого кишечника домашнего скота и птицы, поверхностных водоемов, садовой и лесной почвы, а также почвы на территории машиностроительного завода.

Для изоляции ХРБ пробы высевали в жидкую питательную среду следующего состава (г/л):  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 2,0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 1,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0;  $\text{MgSO}_4$  – 0,2;  $\text{NaCl}$  – 0,1;  $\text{CaCl}_2$  – 0,02; МПБ – 25% от объема среды, хроматы вносились в виде  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  в концентрации 2,0 г/л., с последующим культивированием либо в условиях ограниченного доступа воздуха под резиновыми пробками, либо в таких же условиях, но с предварительной продувкой среды газовой смесью  $\text{N}_2$  :  $\text{CO}_2$  80:20. Получение чистых культур проводили на МПА с 1,0 г/л хромата калия. Чистые культуры хранились в жидкой или на агаризованной среде, содержащие не менее 1,0 г /л  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Устойчивость выделенных культур к антибиотикам проверяли с помощью дисков по стандартной методике, нанося на свежесезонный газон с культурой диски, пропитанные антибиотиками: ампициллин – 10 мкг; эритромицин – 15 мкг; гентамицин – 10мкг; стрептомицин – 10 мкг; пенициллин 10 ед., тетрациклин – 30 мкг. Устойчивость к антибиотикам считалась положительной при наличии роста по краю диска спустя 48 часов роста. Для выяснения влияния концентрации тяжелых металлов на культуры их высевали на МПА, куда вносились соли тяжелых металлов:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , растворенные в дистиллированной воде, до конечной концентрации их в среде от 30 до 100 мг/л по катиону. Ингибирующей считалась концентрация, при которой полностью отсутствовал рост.

Способность культур использовать различные органические вещества для восстановления хроматов изучали в жидкой среде, куда вносили испытуемое органическое вещество: глюкозу, соли органических кислот – 1%, МПБ – 10 об %, этиловый

спирт в концентрации 0,3 об%. Хроматы вносили в виде  $K_2CrO_4$  в количестве 1,0 г/л. Восстановление кислородсодержащих анионов  $-VO_3^-$ ,  $MoO_4^{2-}$ ,  $ClO_3^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $WO_4^{2-}$  – изолированными культурами проверяли на жидкой минеральной среде, приведенной выше, в аналогичных условиях, в среду вместо хроматов вносили вышеперечисленные анионы в концентрации 1,0 г/л. Источником питания служил МПБ в концентрации 10 % от объема среды. Восстановление сульфатов изучали на среде Постгейта «В». Во всех случаях для инокуляции одной пробирки использовали 1 мл суспензии клеток плотностью  $10^5$ – $10^6$  кл/мл, выращенных на МПА и смывтой минеральной средой без внесения какого-либо акцептора. Восстановление хроматов определяли по снижению концентрации шестивалентного хрома, по реакции с дифенилкарбазидом (ДФК) [20]. Остаточные хлораты и перхлораты определяли аналитически [3,6], о восстановлении ванадатов, сульфатов, молибдатов судили по изменению окраски среды и появлению осадка. Кроме того, концентрацию пентавалентного ванадия определяли титрованием солью Мора в присутствии дифениламинсульфоната как индикатора [8], пентавалентный молибден обнаруживали реакцией с роданидом калия [4], а также посевом культур на среду LPM [11]. Наличие сульфатредукции регистрировали по появлению черного осадка при культивировании на среде Постгейта «В». Рост культур в анаэробных условиях с хроматом и другими акцепторами электронов изучали на жидкой минеральной среде (см. выше) под резиновыми пробками, количество жизнеспособных клеток – посевом 0,1 мл десятикратных разведения культуральной жидкости на МПА с соответствующими КСА (100 мг/л). Выделение плазмидной ДНК проводили согласно [14]. Идентификацию культур до рода проводили по фенотипическим признакам [5]. Все опыты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку вели согласно [7].

**Результаты и их обсуждение.** Из исследованных образцов было выделено 20 штаммов бактерий, которые росли аэробно на поверхности МПА с высокими концентрациями хроматов (до 20,0 г/л) и в условиях ограниченного доступа воздуха в пробирках под резиновыми пробками на жидкой среде с хроматами. Хроматрезистентные микроорганизмы с одинаковой частотой выделялись как из мест с высоким уровнем техногенных нагрузок (дренажные воды свалок, сточные воды заводов), так и из относительно чистых мест (воздух, садовая почва, помет домашней птицы). Чистые культуры были получены при рассеивании накопительных культур на МПА с 2 г/л хроматов. Идентификация выделенных культур позволила отнести их к родам *Pseudomonas*, *Oerskovia*, *Bacillus* и *Micrococcus*. Помимо хроматов культуры были устойчивы практически ко всем проверенным антибиотикам (некоторое угнетение роста оказывал лишь гентамицин) и тяжелым металлам.

Бактериальное восстановление  $CrO_4^{2-}$  идет с поглощением протонов как редуцирующих эквивалентов. Это приводит к значительному повышению исходного pH среды, что способствует осаждению восстановленного хрома в виде гидроокиси [24]. При выращивании изолированных штаммов в условиях ограниченного доступа воздуха под резиновыми пробками в жидкой минеральной среде с хроматами pH среды повышался с 6,95 до 7,3–7,8, что сопровождалось восстановлением хроматов, о чем свидетельствовало наличие осадка гидроокиси хрома и изменение окраски среды. При содержании в среде хроматов до 300 мг/л на дне пробирки наблюдался осадок  $Cr(OH)_3$ , надосадочная жидкость была окрашена в желтый цвет. Шестивалентный хром в ней (по реакции с дифенилкарбазидом) отсутствовал. При повышении концентрации хроматов до 1000–20000 мг/л в среде, где источником органического питания был МПБ наряду с незначительным количеством плотного серо-голубого осадка, образовывался аморфный травянисто-зеленый осадок или такой же осадок цвета морской волны. Надосадочная жидкость также была окрашена в желтый цвет. Шестивалентный хром в ней отсутствовал. При росте на жидкой

питательной среде с глюкозой или этанолом на дне пробирки образовывался незначительный осадок трехвалентного хрома, шестивалентный хром в надосадочной жидкости отсутствовал, а сама жидкость была окрашена в травянисто-зеленый или темно-зеленый цвет, что характерно для комплексных соединений трехвалентного хрома, а именно кристаллогидратов, с одним или двумя атомами хлора в молекуле. Состав этих соединений можно установить на основании взаимодействия их со свежеприготовленным раствором нитрата серебра [2]. При росте на МПА с хроматами в условиях ограниченного доступа воздуха последний также окрашивался в травянисто-зеленый, темно-зеленый или сине-фиолетовый цвет (характерный для кристаллогидрата трехвалентного хрома, содержащего в своей молекуле три атома хлора). Чем объясняется образование той или иной формы кристаллогидрата выяснить не удалось. В контрольных образцах в случае, если в среду не вносился источник углеродного питания или культивирование бактерий проводилось в аэробных условиях, подобных изменений в среде не наблюдали. Восстановление шестивалентного хрома и рост культур на органических кислотах (Na-солях уксусной, пропионовой, лимонной кислот) отсутствовали. Изолированные штаммы росли и восстанавливали хроматы при концентрации последних в жидкой среде до 5 г/л (т.е. 1,34 г/л  $\text{Cr}^{6+}$ ). При повышении концентрации количество активных штаммов снижалось. Так, при концентрации хроматов до 10 г/л, росли и восстанавливали этот анион лишь 7 штаммов, а при 20 г/л – только 2 штамма, значительно увеличивалась также продолжительность процесса восстановления – 2-3, 10-14 и 28-35 суток, соответственно (табл. 1). Предварительная продувка среды газовой смесью для удаления остаточного кислорода не приводила к уменьшению лаг-фазы и не снижала время восстановления хроматов. Все изолированные культуры восстанавливали ванадаты, о чем свидетельствовало появление голубого осадка и изменение окраски среды, а также молибдаты. При выращивании на среде LPM, где соотношение молибдата и фосфата равнялось 40:1, в течение суток у большинства культур (у 11 из 20 шт.) наблюдалось образование молибденовой сини, что свидетельствует о восстановлении шестивалентного молибдена. На среде с вольфрамом роста и изменения окраски не было. На среде с хлоратами и перхлоратами (5,0 и 10,0 г/л) рост практически отсутствовал, восстановление хлоратов и перхлоратов не превышало 30-50 мг от первоначального количества, хотя ни хлораты, ни перхлораты, ни вольфраматы не были токсичны для изолятов. Бактерии хорошо росли в аэробных условиях с внесением такого же количества этих анионов. Разницы в активности восстановления и устойчивости к различной концентрации хрома у бактерий, выделенных из загрязненных и относительно незагрязненных мест, также не наблюдалось. Ни один штамм не восстанавливал сульфаты.

Известно, что устойчивость бактерий к ионам тяжелых металлов может кодироваться как хромосомными, так и внехромосомными генетическими детерминантами. Некоторые авторы отмечают, что гены, отвечающие за нормальный метаболизм ионов металлов в клетке, как правило располагаются на хромосоме, а генетические детерминанты устойчивости микроорганизмов к токсическим концентрациям ионов металлов имеют плазмидную природу [12]. Для определения природы устойчивости изолированных бактерий к ионам тяжелых металлов был исследован генетический профиль трех наиболее активных штаммов. Было показано, что каждый из этих штаммов содержал высокомолекулярную плазмиду весом примерно 100 kd. Однако достоверно доказать, что именно она ответственна за суперустойчивость изолированных штаммов к хроматам и другим кислородсодержащим анионам на данном этапе исследования не удалось. Возможно, что обнаруженная плазида определяет устойчивость изучаемых бактерий как к антибиотикам, так и к тяжелым металлам.

Таким образом, из различных объектов были изолированы бактерии, устойчивые к высоким концентрациям хроматов и других кислородсодержащих анионов и способные восстанавливать эти соединения до нетоксичных форм. Это делает их перспективными для использования в биотехнологиях обезвреживания концентрированных сточных вод. Следует, однако, иметь в виду, что при значительной концентрации хроматов в сточных водах результат их обезвреживания культурами не гарантирован, поскольку наряду с нерастворимым осадком гидрата окиси хрома образуются и растворимые продукты. Это обстоятельство заставляет регламентировать максимальную концентрацию хроматов в сточных водах, подающихся на очистку. Нечувствительность изолированных культур к начальному невысокому содержанию кислорода значительно упрощает конструкцию установки и время пребывания воды в биореакторе. Подобное отношение к кислороду, растворенному в среде, отмечалось также и у хлоратовосстанавливающих бактерий. Однако, в условиях аэрации ни хлораты, ни хроматы ни хлоратредуцирующими, ни изучаемыми культурами не восстанавливались.

Таблица 1

**Восстановление различных кислородсодержащих анионов  
хроматустойчивыми микроорганизмами**

№ штамма	Рост на МПА с $K_2CrO_4$ в конц., (г/л):			Восстановление $K_2CrO_4$ в конц., (г/л):			Восстановление:			
	5,0	10,0	20,0	5,0	10,0	20,0	Mo <sup>6+</sup>	V <sup>5+</sup>	Cl <sup>5+</sup>	Cl <sup>7+</sup>
53	+	+		+			+	+	-	-
54	+	+		+				+	-	-
59	+			+			+	+	-	-
61	+	+		+	+		+	+	-	-
64	+	+		+				+	-	-
51	+						+	+	-	-
69	+	+		+			+	+	-	-
58	+	+	+	+	+		+	+	-	-
4.3	+							+	-	-
67	+	+		+	+		+	+	-	-
4.5	+			+				+	-	-
8.5	+	±		+				+	-	-
8.6	+	+		+	+		+	+	-	-
13.1	+	+		+				+	-	-
13.2	+	+		+	+			+	-	-
10.1	+	+		+				+	-	-
68	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
15.1	+			+			+	+	-	-
15.2	+	+		+				+	-	-
70	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

Культуры, изолированные нами, относятся к различным таксономическим группам. У представителей некоторых из них уже была описана способность редуцировать хроматы (9, 10, 23). Способность восстанавливать хроматы у представителей, например, рода *Oerskovia* установлена нами впервые. Интересен также факт выделения хроматустойчивых штаммов, способных восстанавливать кроме хроматов и другие КСА, из содержимого кишечника домашних животных и птицы, хотя в естественных условиях обитания они вряд ли сталкиваются с такими концентрациями токсикантов. Здесь логично было бы предположить, что имеет место множественная устойчивость к различным неблагоприятным факторам.

**Г.Ф. Смирнова, В.С. Підгорський**

*Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, Київ*

## **ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ БАКТЕРІЙ, СТІЙКИХ ДО ВИСОКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ХРОМАТІВ**

### **Резюме**

З різних екологічних ніш ізолювано 20 штамів бактерій, стійких до високих концентрацій хроматів і здатних відновлювати їх до сполук тривалентного хрому – нерозчинного гідроксиду хрому або розчинних кристалогідратів. Описані особливості росту цих мікроорганізмів на середовищах, що містили хромати у високих концентраціях (до 20,0 г/л). Подібно до хроматів, бактерії можуть відновлювати ванадати до сполук чотиривалентного ванадію та молібдату до  $\text{Mo}^{5+}$ . Найкраще відновлення відбувається на середовищах, де джерелом органічного живлення були МПБ, глюкоза або етиловий спирт. На органічних кислотах ріст культур і відновлення КВА не відбувалось. Показано, що вольфрамат, хлорат і перхлорат у високих концентраціях (до 10 г/л) не токсичні для цих бактерій, але не відновлюються ними. Найактивніші штами відносяться до родів *Pseudomonas*, *Oerskovia*, *Bacillus*, *Micrococcus*.

**Ключові слова:** хроматрезистентні бактерії, кисеньвмісні аніони, бактеріальне відновлення хроматів, хлоратів, перхлоратів, ванадатів, молібдатів.

**G.F. Smirnova, V.S. Pidgorskyi**

*Zabolotny Institute of Microbiology and Virology,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

## **METABOLISM FEATURES OF BACTERIA RESISTANT TO HIGH CONCENTRATIONS OF CHROMATE**

### **Summary**

Twenty strains of bacteria resistant to high concentrations of chromate were isolated from different ecological niches. They were able to reduce chromate to compounds of trivalent chromium – nonsoluble chromium hydroxide or soluble crystalline hydrates of trivalent chromium. The growth features of these microorganisms on media containing chromate at high concentrations (up to 20.0 g/l) are described. Besides chromate bacteria can reduce vanadate to compounds of  $\text{V}^{4+}$  and  $\text{Mo}^{6+}$  to  $\text{Mo}^{5+}$ . The best reduction takes place on the media where MPB, glucose or ethanol serves as the source of carbon. The growth and reduction of anion-in-study did not occur on organic acids. It was shown that tungstate, chlorate or perchlorate were not toxic for the studied bacteria up to concentrations of 10.0 g/l, however were not reduced by these microorganisms. The most active strains belong to genera *Pseudomonas*, *Oerskovia*, *Bacillus*, *Micrococcus*.

The paper is presented in Russian.

**Keywords:** chromate-resistant bacteria, oxygen-containing anions, bacterial reduction of chromate, chlorate, perchlorate, vanadate, molybdate.

**The authors' address:** Smirnova G.F., Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine; 154 Acad. Zabolotny St., Kyiv, MSP, D 03680, Ukraine.

1. Биологическая очистка хромсодержащих промышленных сточных вод. – Киев: Наук. думка, 1990. – 108 с.
2. Глинка Н.Л. Общая химия – Л.: Химия, 1980 – 720 с.
3. Голосницкая Т.А., Петрашень В.И. Экстракционно-колориметрическое определение перхлоратов в присутствии хлоратов // ЖАХ. – 1962. –17, № 7. – С. 878–881.
4. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы) // Госкомсанэпиднадзор. РФ. – 1988. – 334 с.

5. *Определитель бактерий Берги*. В 2-х т., Т.1: Пер. с англ. / Под ред. Дж.Хоулта, Н.Крига, П.Снита, С.Уильямса.– М.: Мир, 1997. – 432 с.
6. *Петрашень В.И.* Объемный анализ. – М.: Наука, 1946. – 227 с.
7. *Химмельблау Д.* Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 975 с.
8. *Шарло Г.* Методы аналитической химии. – М.: Химия, 1969. – 928 с.
9. *Vopp Z., Ehrlich H.* Enzymatic reduction of Cr<sup>6+</sup> by a strain of *Ps. fluorescens* // Abstr. Annu. Meet. Amer. Soc. Microbiol. – Washington; D.C., 1980. – P. 212–216.
10. *Vopp L.H.* Microbiological removal of chromate from contaminated waste water. – 1985 – US Pat. 4468461.
11. *Campbell A. M., Campillo-Campbell. A.D., Villaret D.B.* Molybdate reduction by *Escherichia coli* K-12 and its chl mutants. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1985(Jan.). – **82**. – P. 227–231.
12. *Cervantes C., Campos-Garcia J., Devars S., Gutierrez-Corona F., Loza-Tavera H., Torres-Guzman J.C., Moreno-Sanchez R.* Interaction of chromium with microorganisms and plants. // FEMS Microbiol. Rev. – 2001. – **25**, N 3. – P. 335–347.
13. *Efstathion J. D., McKay L.L.* Inorganic salts resistance associated with a lactose-fermenting plasmid in *Staphylococcus lactis*. L // J. Bacteriol. – 1977. – **130**, N 1. – P. 257–265.
14. *Law D., Crickmore N.* Use of simplified rapid size screen protocol for the detection of recombinant plasmids. // Elsevier Trends Technical Tips. – 1997. – P. 301–304.
15. *Nakayama E., Fujinaga T.* Chemical speciation of chromium in sea water. II. Effects of manganese oxides and reducible organic materials on the redox processes of chromium // Anal. chim. acta – 1981. – **130**, N 2. – P. 401–404.
16. *Novick R.P., Roth C.* Plasmid-linked resistance to inorganic salts in *Staphylococcus aureus* // J. Bacteriol. – 1968 (Apr.). – **95**, N 4. – P. 1335–1342.
17. *Petrilli F.L., de Flora S.* Toxicity and mutagenicity of hexavalent chromium on *Salmonella typhimurium* // Appl. Environ. Microbiol. – 1977. – **33**, N 4. – P. 805–809.
18. *Petrilli F.L., de Flora S.* Metabolic deactivation of hexavalent chromium mutagenicity // Mutat. Res. – 1978(Oct). – **54**, N 2. – P. 139–147.
19. *Petrilli F.L., de Flora S.* Oxidation of inactive trivalent chromium to the mutagenic hexavalent form. // Mutat. Res. – 1978(Nov.). – **58**, N 2-3. – P. 167–173.
20. *Pilkington E.S., Smith P.R.* Spectrophotometric determination of chromium in ilmenite // Anal. chim. acta – 1965. – **39**, N 2. – P. 321–328.
21. *Shimada K.* Effects of sixvalent chromium on growth and enzyme production of chromium-resistant bacteria // Abstr. 79-Annu. Meet. Amer. Soc. Microbiol. – Los Angeles, Calif., 1979; Washington, D.C., 1979. – P. 238.
22. *Smillie R.H., Hunter K., Loutit M.* Reduction of chromium (VI) by bacterially produced hydrogen sulfide in a marine environment // Water. Res. – 1981. – **15**, N 12. – P. 1351–1354.
23. *Summers A.O., Jacoby G.A.* Plasmid-determined resistance to boron and chromium compounds in *Pseudomonas aeruginosa*. // Antimicrob. Agents Chemother. – 1978. – **13**, N 4. – P.637–640.
24. *Zakaria Z.A., Zakaria Z., Surif S., Ahmad W.A.* Biological detoxification of Cr(VI) using wood-husk immobilized *Acinetobacter haemolyticus* // J. Hazardous Materials. – 2007. – **148**, N 1-2. – P. 164–171.

Отримано 15.10.2012