



УДК 579.66.574.64

## Детоксикация растворов солей ртути, кадмия, свинца и мышьяка коммерческим препаратом дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*

Г. О. Жданова<sup>1</sup>, О. Ф. Вятчина<sup>1</sup>, Д. И. Стом<sup>1,2,3</sup>, В. С. Гарак<sup>1</sup>,  
Е. В. Захаров<sup>4</sup>, О. В. Бобровская<sup>1</sup>, О. А. Бархатова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск

<sup>3</sup> Байкальский музей ИГиЛ СО РАН, пос. Листвянка

<sup>4</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ

E-mail: [zhdanova86@yandex.ru](mailto:zhdanova86@yandex.ru)

**Аннотация.** Изучалось влияние пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на токсичность растворов солей тяжёлых металлов и мышьяка ( $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$ ). Показано, что после 15-минутного выдерживания растворов  $\text{HgCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$  в концентрации 1 мг/л и раствора  $\text{CdCl}_2$  в концентрации 5 мг/л с дрожжами их токсичность снижалась практически вдвое, а раствора 1 мг/л  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  – на 20 %. Эффект детоксикации усиливался при увеличении времени экспозиции дрожжей в исследуемых растворах с 15 до 60 мин.

**Ключевые слова:** детоксикация, тяжёлые металлы, *Saccharomyces cerevisiae*, *Paramecium caudatum*.

### Введение

Имеется много публикаций о способности клеток микроорганизмов к сорбции металлов [1; 4]. Выявлено несколько механизмов аккумуляции металлов микроорганизмами: это либо физико-химические взаимодействия с клеточной стенкой, либо процессы, связанные с метаболизмом клеток – внутриклеточный транспорт, компартментализация металлов, внеклеточное осаждение продуктами метаболизма [6; 8]. Существуют разработки по использованию ряда микроорганизмов в биогидрометаллургии для извлечения цветных и драгоценных металлов из растворов, а также очистки загрязнённых сред от тяжёлых металлов и радионуклидов [2; 3; 7].

Слабо изучено применение дрожжей для биоремедиации загрязнённых тяжёлыми металлами и мышьяком субстратов. В этой связи целью данной работы явилось изучение изменения токсичности растворов некоторых солей тяжёлых металлов и мышьяка после их экспонирования с коммерческим препаратом дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

### Материалы и методы исследования

В работе использовали водные растворы следующих солей (ХЧ):  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  в концентрации 1 мг/л и  $\text{CdCl}_2$  в концентрации 5 мг/л. При изучении детоксикации в исследуемые растворы помещали навеску сухих дрожжей *S. cerevisiae* («Саф-Момент» ГОСТ/ТУ: ТУ 9182-001-48975583-2000, Саф-Нева, Россия,) в количестве 30 и 100 г/л сухой массы и выдерживали полученную суспензию в течение 15 и 60 мин при температуре +20 °С. После этого из растворов удаляли биомассу дрожжей путём фильтрования (фильтры обеззоленные «синяя лента»,  $d = 150$  мм, АРЕХЛАВ) и определяли остаточную токсичность методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта инфузорий *Paramecium caudatum* [5]. Токсическое действие проб оценивали по их влиянию на выживаемость парameций за 2-часовой период экспозиции.

Все эксперименты проводили не менее чем в пяти независимых опытах с тремя параллельными измерениями в каждом. Для обработки полученных данных использовали программу Excel из пакета MS Office 2007. Достоверность различия определяли с помощью критерия Стьюдента. Представленные данные и основанные на них выводы сделаны при вероятности безошибочного прогноза  $p \geq 0,95$ .

### Результаты и обсуждение

Оценка токсичности растворов исследуемых соединений показала, что хлорид ртути и ацетат свинца в концентрации 1 мг/л вызывали 100%-ную гибель *P. caudatum* в течение двух часов экспонирования. Смертность инфузорий, инкубируемые в растворе арсената натрия (1 мг/мл), составляла  $81,0 \pm 7,2$ , в растворе хлорида кадмия (5 мг/л) –  $68,3 \pm 5,1$  % (табл. 1).

Таблица 1

Токсичность солей тяжёлых металлов и мышьяка по отношению к *Paramecium caudatum*

| Тестируемое соединение               | Концентрация соединения, мг/л | Смертность инфузорий, % |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| $\text{HgCl}_2$                      | 1                             | 100                     |
| $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ | 1                             | 100                     |
| $\text{Na}_3\text{AsO}_4$            | 1                             | $81,0 \pm 7,2$          |
| $\text{CdCl}_2$                      | 5                             | $68,3 \pm 5,1$          |

Внесение препарата дрожжей в растворы исследуемых соединений и последующее экспонирование приводило к снижению токсичности последних. Так, после 15-минутного выдерживания растворов 1 мг/л  $\text{HgCl}_2$ , 5 мг  $\text{CdCl}_2$ , 1 мг  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$  с дрожжами, добавленными в количестве 30 и 100 г/л, их токсичность снижалась почти в два раза. Эффект детоксикации усиливался по мере увеличения времени взаимодействия дрожжей с водными растворами исследуемых соединений с 15 до 60 мин (табл. 2).

Таблица 2

Токсичность растворов солей тяжёлых металлов и мышьяка после экспонирования с биомассой *Saccharomyces cerevisiae*

| Растворы солей тяжёлых металлов и мышьяка     | Время экспонирования дрожжей в растворе, мин | Численность особей инфузорий (%), погибших за 2 ч инкубирования в растворе, предварительно выдержанного с добавлением дрожжей в количестве |           |
|---|--|--|-----------|
|   |  | 30 г/л   | 100 г/л   |
| HgCl <sub>2</sub> (1 мг/л)                    | 0  | 100  | 100       |
|   | 15   | 52,2±4,4   | 50,9±5,1  |
|   | 60   | 36,3±7,2   | 14,6±2,4  |
| CdCl <sub>2</sub> (5 мг/л)                    | 0  | 100  | 100       |
|   | 15   | 49,0±4,7   | 49,0±5,1  |
|   | 60   | 26,6±4,5   | 20,9±5,9  |
| Na <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> (1 мг/л)     | 0  | 100  | 100       |
|   | 15   | 50,1±6,0   | 52,5±10,0 |
|   | 60   | 40,9±8,0   | 22,1±5,3  |
| Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> (1 мг/л) | 0  | 100  | 100       |
|   | 15   | 79,7±4,5   | 80,0±3,2  |
|   | 60   | 43,3±4,9   | 56,3±2,4  |

Наименьший эффект детоксикации отмечали в опытах с ацетатом свинца (1 мг/л). В частности, после выдерживания исследуемого раствора с дрожжами в течение 15 мин его токсичность снижалась всего на 20 %. Более существенное снижение токсичности раствора ацетата свинца отмечали после 60 мин экспонирования с дрожжами (см. табл. 2).

### Заключение

Таким образом, проведённые эксперименты показали, что экспонирование растворов солей тяжёлых металлов (1 мг/л HgCl<sub>2</sub>, 5 мг/л CdCl<sub>2</sub>, 1 мг/л Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>) и мышьяка (1 мг/л Na<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>) с добавлением биомассы пекарских дрожжей в количестве 30–100 г/л приводило к снижению токсичности растворов. Эффект детоксикации усиливался при увеличении времени экспозиции дрожжей в растворах исследуемых соединений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (Задание № 13.1263.2014/К от 11.07.2014), гранта РФФИ (тема № 110-14-402).*

### Список литературы

1. Адсорбция и окисление соединений мышьяка минералами железа и в био-минеральных системах / Л. В. Переломов [и др.] // Естеств. науки. – 2012. – Вып. 3. – С. 231–241.
2. Букреева В. Ю. Сорбция коллоидных соединений оксидов железа и марганца с помощью железобактерий на песчаных загрузках очистных сооружений

водоподъемных станций / В. Ю. Букреева, М. Ю. Грабович, А. Т. Епринцев // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т. 9, вып. 4. – С. 506–514.

3. Воловдов А. И. Разработка технологии очистки от тяжелых металлов загрязненных территорий и ливневых стоков промышленных предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.03 / А. И. Воловдов. – М., 2006. – 19 с.

4. Жилин О. В. Биосорбция и трансформация золота и сопутствующих тяжелых металлов микромицетами : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07 / О. В. Жилин. – Благовещенск, 2003. – 124 с.

5. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg / ПНДФ 14.1:2:3.13-06 16.1:2.3:3.10-06. – М., 2006.

6. Переломов Л. В. Молекулярные механизмы взаимодействия между микроэлементами и микроорганизмами в биокосных системах (биосорбция и биоаккумуляция) / Л. В. Переломов, И. В. Переломова, Д. Л. Пинский // Агрехимия. – 2010. – № 3. – С. 80–94.

7. Хижняк Т. В. Воздействие микроорганизмов на долгоживущие радионуклиды с переменной валентностью / Т. В. Хижняк, Н. Н. Медведева-Ляликова // Тр. Ин-т микробиологии им. С. Н. Виноградского. – М. : Наука, 2004. – Вып. XII : Юбилейный сборник к 70-летию института. – С. 410–419.

8. Ledin M. Accumulation of metals by microorganisms – processes and importance for soil systems / M. Ledin // Earth-Sci. Rev. – 2000. – Vol. 51, N 1. – P. 1–31.

## Detoxication Solution of Salts of Mercury, Cadmium, Lead and Arsenic Yeast Biomass

G. O. Zhanova<sup>1</sup>, O. F. Vyatchina<sup>1</sup>, D. I. Stom<sup>1,2,3</sup>, V. S. Garak<sup>1</sup>  
E. V. Zakharov<sup>4</sup>, O. V. Bobrovskaya<sup>1</sup>, O. A. Barkhatova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University, Irkutsk

<sup>2</sup> National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk

<sup>3</sup> Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka

<sup>4</sup> East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

**Abstract.** The effect of baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* on the toxicity of solutions of heavy metals and arsenic salts ( $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$ ) was studied. It was shown that toxicity of  $\text{Na}_2\text{AsO}_3$  and  $\text{HgCl}_2$  solutions was reduced almost in two times after of 15 minutes' incubation at a concentration 1 mg/l and 5 mg/l  $\text{CdCl}_2$  with yeast. The toxicity of solution of 1 mg /l  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  for yeast was reduced on 20 %. The detoxifying effect has been amplified at increasing of exposure time of yeast in the solutions studied from 15 to 60 min.

**Keywords:** detoxication, heavy metals, *Saccharomyces cerevisiae*, *Paramecium caudatum*.

Жданова Галина Олеговна  
младший научный сотрудник  
Иркутский государственный университет  
664033, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 34-34-37  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Zhdanova Galina Olegovna  
Junior Research Scientist  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 34-34-37  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

*Вятчина Ольга Фёдоровна*  
кандидат биологических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [olgairk3@rambler.ru](mailto:olgairk3@rambler.ru)

*Vyatchina Ol'ga Fedorovna*  
Candidate of Sciences (Biology)  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [olgairk3@rambler.ru](mailto:olgairk3@rambler.ru)

*Стом Дэвард Иосифович*  
доктор биологических наук, профессор  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
Национальный исследовательский  
Иркутский государственный технический  
университет  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
Байкальский музей ИИЦ СО РАН  
664520, Иркутской обл., пос. Листвянка,  
ул. Академическая, 1  
тел.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [stomd@mail.ru](mailto:stomd@mail.ru)

*Stom Devard Iosifovich*  
Doctor of Sciences (Biology), Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
National Research Irkutsk State Technical  
University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074  
Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka  
1 Akademicheskaya St., Listvyanka,  
Irkutsk, 664520  
tel.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [stomd@mail.ru](mailto:stomd@mail.ru)

*Гарак Вера Сергеевна*  
студент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [veragarak@mail.ru](mailto:veragarak@mail.ru)

*Garak Vera Sergeevna*  
Student  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 24–18–70  
e-mail: [veragarak@mail.ru](mailto:veragarak@mail.ru)

*Захаров Евгений Викторович*  
студент  
Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления  
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В  
тел.: (3012) 41–71–46  
e-mail: [Zaxaroff.ewg@yandex.ru](mailto:Zaxaroff.ewg@yandex.ru)

*Zakharov Evgeniy Viktorovich*  
Student  
East Siberia State University  
of Technology and Management  
40B, Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013  
tel.: (3012) 41–71–46  
e-mail: [Zaxaroff.ewg@yandex.ru](mailto:Zaxaroff.ewg@yandex.ru)

*Бобровская Ольга Вадимовна*  
студент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52–10–89  
e-mail: [olga\\_17\\_04\\_1990@mail.ru](mailto:olga_17_04_1990@mail.ru)

*Bobrovskaya Olga Vadimovna*  
Student  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 52–10–89  
e-mail: [olga\\_17\\_04\\_1990@mail.ru](mailto:olga_17_04_1990@mail.ru)

*Бархатова Оксана Анатольевна*  
кандидат биологических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52–10–89  
e-mail: [barhat@geogr.isu.ru](mailto:barhat@geogr.isu.ru)

*Barkhatova Oksana Anatolyevna*  
Candidate of Sciences (Biology)  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 52–10–89  
e-mail: [barhat@geogr.isu.ru](mailto:barhat@geogr.isu.ru)