

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ РУД

Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М., Васина С.М.

Самаркандский государственный университет им. А. Навои, г. Самарканд

В работе рассматриваются экологические проблемы при добыче и переработке урановых руд. На основе лабораторного эксперимента и имеющегося опыта в реакриации промышленных зон предлагается ряд инновационных инженерно-технических решений, направленных на снижение экологических рисков предприятий ядерного цикла. Предлагается использование дрожжевых отходов пивоваренной промышленности в биосорбционных технологиях по извлечению урана и продуктов его деления из сточных вод и для длительной консервации отработанных урановых шахт. При этом показана возможность перевода плохо утилизируемых дрожжевых отходов пивоваренных производств в стратегическое сырье для получения биосорбентов тяжелых металлов, радионуклидов и прочих экотоксикантов.

Уже становится очевидным, что наличие урановых руд составляет значительный экономический потенциал практически любого государства. Однако, при этом необходимо учитывать и дополнительные риски экологического характера, связанные с добычей и переработкой этих руд. Так, добыча полезных ископаемых, как правило, сопровождается глобальными изменениями ландшафта территорий, загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами, радионуклидами, мелкодисперсными выбросами [1]. Другой не менее важной и значительной проблемой для предприятий ядерного цикла, к которым относится уранодобывающая промышленность, является скопление большого количества жидких отходов, содержащих растворенные уран и продукты его распада в низкой концентрации [5]. Для их утилизации и очистки от радионуклидов применяются сложные и трудоемкие технологии, которые зачастую экономически не оправданы. Проблемой также остается консервация выработанных урановых шахт. Зачастую эти шахты остаются заброшенными, а поддержание их в экологически безопасном состоянии обходится весьма дорого. Происходит их затопление грунтовыми водами и атмосферными осадками, которые подвержены естественному загрязнению ионами тяжелых металлов, урана и продуктов его распада. Загрязненная вода проникает в водоносные горизонты, обеспечивающие водоснабжение проживающего в округе населения. Приведенные примеры свидетельствуют об актуальности поиска инновационных инженерно-технических решений существующих проблем в урановой промышленности .

В качестве одного из решений проблемы нами предлагается засеивание территорий рудников и горных выработок неприхотливыми, с точки

зрения агрохимических и климатических условий, растениями, способными, благодаря их морфофункциональным особенностям накапливать радионуклиды, тяжелые металлы и прочие экотоксиканты в своей биомассе, а также укреплять подвижный и наиболее подверженный ветровой эрозии поверхностный слой отвалов. В качестве таких растений нами были рассмотрены агроэкологические возможности дикой тыквы *Cucurbita foetidissima*. Возможной альтернативой *Cucurbita foetidissima* может быть топинамбур *Heliánthus tuberósus*, обладающий не менее эффективными агроэкологическими возможностями и культивирование которого налажено уже во многих странах.

О практических результатах исследований эффективности применения агроэкологических принципов ремедиации почв нами сообщалось на предыдущем 8-ой Международной Конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики [7].

Поэтому в настоящей работе нами сделан акцент на поиск инженерно-технических решений связанных с экологией воды. К таковым могут относиться биосорбционные технологии с использованием микроорганизмов. О том, что радионуклиды, в частности, уран и продукты его распада могут быть сконцентрированы и удалены из водных растворов бактериями, водорослями, грибами, мхами, дрожжами и прочими микроорганизмами сообщается в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [3, 8-11].

Нами изучены сорбционно-аналитические возможности клеточных стенок дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* – крупнотоннажного и плохо утилизируемого отхода пивоваренного производства.

С этой целью биомасса отобранных из технологической схемы производства осадочных дрожжей подвергалась обработке, включающей отмывку дистиллированной водой, автоклавирование при температуре 120-130 °С в течение 1,5 часов, центрифугирование при 5000 об/мин, вакуум-сушку при 65 °С и измельчение до частиц размером 0,3-0,5 мм.

Как показали исследования, полученная биомасса состоит только из мертвых клеток, содержащих клеточные стенки, представляющих собой целлюлозосодержащий биополимер пептидо-глюканового комплекса со специфическими функциональными группами, которые могут взаимодействовать с ионами тяжелых металлов [2]. Элементным анализом установлено, что биомасса клеточных стенок дрожжей содержит 47,8 – 48,6 % С; 5,7-6,1 % N и 6,86% Н. Поверхность сорбента составляла 118,6 м²/г.

Биосорбционные возможности сорбента изучали на модельных растворах с различным содержанием U (VI), приготовленных растворением сульфата уранила UO₂SO₄•3H₂O. в дистиллированной воде Начальные и равновесные концентрации U (VI) определяли фотоколориметрическим методом с Арсеназо III при λ= 670 нм.

Степень извлечения UO_2^{2+} находили по формуле:

$$R = \frac{C_0 - C_{\text{равн.}}}{C_0} \cdot 100\%,$$

где C_0 и $C_{\text{равн.}}$ – начальная и равновесная концентрации UO_2^{2+} в растворе, мг/л.

Изучали влияние pH, начальной концентрации ионов U (VI), времени активации, температуры, дозы сорбента на полноту и кинетику сорбции ионов урана. Сорбционный процесс описывали моделями мономолекулярной адсорбции Фрейндлиха и Ленгмюра.

Было установлено, что максимальная адсорбционная способность клеточных стенок дрожжей по отношению к уранил-ионам наблюдается в диапазоне pH, близком к нейтральному 5,0 – 6,5 ед. pH, при их начальных концентрациях 20 – 100 мг/л. Биосорбция протекает относительно быстро при концентрации уранил-ионов ≤ 20 мг/л и достигает $R \sim 80\%$ в течение 30 минут. Доза сорбента, при которой достигается максимальная сорбционная емкость, 1-2,5 г/л. Температура не значительно влияет на сорбционную емкость. В то же время, как показали исследования, наибольшее влияние на биосорбцию уранил-ионов оказывают карбоксильные группы, а затем уже фосфорильные и аминогруппы [3].

В таблице приведены рассчитанные параметры сорбции U(VI) клеточными стенками дрожжей и соответствующие критериальные уравнения процесса.

Таблица - Биосорбции U(VI) клеточными оболочками дрожжей *S.cerevisiae**

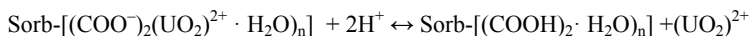
Расчеты по уравнению Фрейндлиха			Расчеты по уравнению Ленгмюра		
n	K	R ²	Q _{max} , мг/Г	b	R ²
0,5844	6,31	0,9476	183,3	0,2766	0,9898
y = 0,638x + 0,803			y = 0,3611x + 0,0044		

*- концентрация биосорбента – 1г/дм³; начальная концентрация U (VI) -100 мг/дм³; t - +18⁰ C; pH = 6,0; τ – 1,5 час; скорость встряхивания – 150 об/мин

Установлено, что биосорбция лучше описывается уравнением Ленгмюра, т.е. создание мономолекулярного слоя адсорбтива на поверхности сорбента без каких-либо значительных хемосорбционных явлений ($-\Delta H = 9,9$ кДж/моль), а максимальная сорбционная емкость составляет 183,3 мг уранил-ионов на 1 грамм сухого биосорбента.

Десорбцию урана с поверхности биосорбента под воздействием минеральных кислот можно сравнить с сольватационно-координационным

механизмом обмена уранил-ионов на поверхности целлюлозосодержащего биополимера с катионами H^+ [6]. В силу этого имеем:



Таким образом, биосорбент из клеточных стенок дрожжей [Sorb(-COO⁻·nH₂O)], поверхность которого несет на себе отрицательный заряд (ζ- потенциал при нейтральных значениях pH составляет -15 ÷ - 18 мВ [4]), проявляет свойства катионита.

Проведенные исследования дают право считать клеточные стенки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* перспективным материалом для получения биосорбентов ионов тяжелых металлов и радионуклидов.

В то же время для получения «полноценного сорбента» необходимо создание целой биоиндустрии по переработке дрожжевых отходов, их очистке, активации функциональных групп биополимеров и их модификации с целью улучшения сорбционных и эксплуатационных характеристик. Это является хлопотной, трудоемкой и дорогостоящей процедурой, требующей определенных капиталовложений. Именно это и сдерживает коммерциализацию биосорбционных технологий.

Однако, уже сейчас можно предложить решение, которое, по всей видимости, способно удовлетворить как пивоваренные и родственные им производства, так и рудоуправления, для которых содержание выработанных и заброшенных урановых шахт на надлежащем уровне также является «головной болью». Нами предлагается закачивать в отработанные урановые шахты сточные воды пивоваренных производств, содержащие осадочные дрожжи.

При этом пивоваренные и подобные биотехнологические производства снимают проблему утилизации крупнотоннажных отходов, затраты на дополнительную очистку сточных вод, уменьшение штрафных выплат за сброс вредных отходов в коллекторную сеть.

Аналогичные преимущества будут и у рудоуправлений: улучшается радиологическая обстановка в регионе; происходит концентрирование (пусть и с эффективностью ниже, чем показано в лабораторном эксперименте) урана и продуктов его распада, тяжелых металлов и других экотоксикантов. При прохождении некоторого времени, дрожжевой биосорбент, насыщенный ураном и другими ионами тяжелых металлов, может быть откачен и утилизирован, например, сожжением (не жалко, сырье даровое) и уран в виде солей поступит на дальнейшую переработку. Зольность дрожжевой биомассы не превышает 18 -22 %.

Таким образом, предлагаемая идея носит не только утилитарный характер, но и стратегический, с высокой экономической подоплекой перевода «отходов – в доходы».

Литература

1. Певзнер М.Е., Костовецкий В.П. Экология горного производства. – М.: Недра, 1990. – 235с.
2. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Парпиев Н.А., Аронбаев Д.М. Биосорбционное концентрирование тяжелых металлов клеточными оболочками пивоваренных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Доклады академии наук Республики Узбекистан. - 2011.- №3. - С.58-60.
3. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М. Биосорбция урана (VI) из водных растворов клеточными оболочками дрожжей *S.cerevisiae* // Вода: химия и экология.- 2011.- №12.- С.51-55.
4. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М. Применение физико-химических методов в исследовании клеточных стенок дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник Московского Государственного областного Университета (МГОУ). - 2013.- №2.- С.84-89.
5. Кульменко М.И., Поликарпов Г.Г. Радиоэкология природных вод на стыке тысячелетий.// Гидробиол.журн.-2000.-Т.36, №2.- С.60-76.
6. Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Модина Е.А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. - 2010. - № 4. -С. 23–30.
7. Аронбаев Д.М., Исмаилов З.Ф., Харитонов С.Е., Насимов А.М., Аронбаев С.Д. Исследование перспективности применения дикой тыквы *Cucurbita foetidissima* в решении экологических проблем горнорудной промышленности //8-я Международная Конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» Тула с 1 по 2 ноября 2012 года. - С.388-392.
8. Dhankhar R., Hooda A., Solanki R., Sainger P.A. *Saccharomyces cerevisiae*: a potential biosorbent for biosorption of uranium. // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). – 2011.- Vol. 3. - No. 6. – P. 5397 – 5407.
9. Popa K., Cecal A., Drochioiu G., Pui A., Humelnicu D. *Saccharomyces cerevisiae* as uranium bioaccumulating material: the influence of contact time, pH and anion nature // Nukleonika, 2003; 48(3). – P.121–125.
10. Volesky B., Holan Z.R. Biosorption of heavy metals: areview.//Biotehmol.Prog.- 1995.- №11.- P.235-250.
11. Yi Z., Yao J. Kinetic and equilibrium study of uranium(VI) adsorption by *Bacillus licheniformis* // J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2012. - Vol. 293. – P.907–914.