

## ФИТОЭКСТРАКЦИЯ КАК СПОСОБ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Ключевые слова:** биологическая очистка почв, загрязнение почв, поллютанты почв, специальный севооборот, фиторемедиация, фитоэкстракция.

**Аннотация.** Обоснована проблема необходимости биологической очистки почв, загрязненных антропогенными поллютантами, дан обзор опыта применения методов биологической очистки и, в частности, фитоэкстракции почв земель сельскохозяйственного назначения. Предложено использование специальных севооборотов для очистки от антропогенных поллютантов почв земель сельскохозяйственного назначения.

С развитием технологий все большее количество веществ используется человеком в хозяйственной деятельности. Большинство используемых в технологических процессах веществ не встречается в естественной природе. Они не вписаны в природные круговороты, не имеют сложившихся химических и биохимических отношений с абиотическими компонентами экосистем и с биотой. То есть являются по отношению к естественным экосистемам загрязнителями. Состав этих продуктов весьма разнообразен, что затрудняет создание универсальной технологии утилизации твердых и жидких промышленных и бытовых отходов.

Не углубляясь в подробный перечень веществ, входящих в состав ПО и ТБО, можно сказать, что большинство из них являются вредными и опасными уже в силу своего антропогенного, то есть неестественного происхождения. Количество этих веществ колоссально и продолжает нарастать. Количество твердых бытовых отходов (ТБО) только в России ежегодно возрастает на 30 млн тонн. Большая часть этих отходов попадает на специализированные полигоны для захоронения или хранения, редко для переработки. В силу того, что состав сбрасываемых веществ на разных полигонах различен, а также из-за

множества других факторов, часто неизвестно, какие процессы происходят в массе накапливаемых отходов.

Продукты этих реакций разным путем: с пылью, с дренажной водой, плоскостным поверхностным смывом и др. попадают в реки, на земли сельскохозяйственного назначения. А оттуда – на стол человеку, который будучи универсальным консументом, потребляет загрязнители как непосредственно с растительной, так и опосредованно, с животной пищей. Сложившаяся ситуация вызывает озабоченность властей, ученых, общественности и обуславливает необходимость разработки массовых простых и достаточно эффективных технологий возврата в природу элементов, прошедших реформацию в ходе хозяйственных процессов и ставших, таким образом, загрязнителями.

Для решения проблемы утилизации и обеззараживания отходов разработано много разнообразных технологий, часть из них более или менее успешно применяется и в ряде случаев даёт положительный экологический и экономический эффект. В европейских государствах 40 % отходов превращают биологической обработкой в органические удобрения, 10 % сжигают на мусоросжигательных заводах, 40 % отходов захоранивают в третьих странах, а оставшиеся 10 %, в основном активный ил, сбрасывают в моря [1]. Все это имеет смысл лишь в случае сбора и накопления отходов. Однако известно, что значительная часть загрязнителей теряется и бесконтрольно распространяется в процессе добычи сырья, при транспортировке, производстве и хранении. И в этих случаях можно говорить о значительных площадях земель, в том числе, и сельскохозяйственного назначения, подвергающихся загрязнению вблизи мест ведения хозяйственной деятельности. На этих территориях наиболее предпочтительными методами очистки почв нам представляются биологические и, в первую очередь, фиторемедиация – от греческого «фитон» (растение) и латинского «ремедиум» (восстанавливать). В настоящее время на фиторемедиацию в США затрачивается порядка 150 млн долларов в год, что составляет 0,5 % всех затрат на очистку окружающей среды. В Европе фиторемедиация пока не имеет широкого применения, однако ситуация может измениться в ближайшем будущем в связи с повышением к ней интереса, а также по причине наличия большого количества загрязнённых районов на территории восточно-европейских государств – членов Евросоюза [3]. Фиторемедиация также может получить широкое применение в развивающихся странах в связи с низкой себестоимостью и простотой применения. Возможность очистки почвы и воды от радионуклидов с помощью проростков подсолнечника была успешно продемонстрирована на территории, зараженной ураном, в США, а также на Украине, на

небольшом водоеме в километре от четвертого реактора Чернобыльской АЭС. Концентрация урана в растениях в тридцать тысяч раз превышала его концентрацию в почве и воде, а для цезия-137 и стронция-90 эта величина составила в восемь и две тысячи раз соответственно.

Значительную часть загрязнителей сельскохозяйственных земель составляют неорганические поллютанты, которые не могут быть деградированы только почвенными процессами. Это макроэлементы растений (нитраты, фосфаты), микроэлементы (такие как Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), несущественные для растения элементы (Cd, Co, F, Hg, Se, Pb, V, W) и радиоактивные изотопы (U238, Cs137 и Sr90). Сюда же следует отнести группу поллютантов, представленных так называемыми тяжелыми металлами.

Тяжелые металлы – это условно названная группа металлов и металлоидов с атомным весом более 50 у.е. При дефицитном или нормальном их содержании в почвах и живых организмах они выступают как микроэлементы, при избытке – как ядовитые вещества.

В естественных условиях почвы содержат определенное количество тяжелых металлов, которое называется фоновым содержанием. Тяжелые металлы возникли из горных пород, на продуктах выветривания которых сформировался почвенный покров. Горная порода состоит примерно из 90 элементов. На долю девяти из них (алюминий, кальций, железо, магний, кислород, калий, кремний, натрий и титан) приходится около 99 % массы.

Микроэлементы составляют всего лишь порядка 0,14 %. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах в естественных условиях зависит от почвообразующей породы. Наименьшее содержание их присуще флювиогляциальным пескам и супесям. Напротив, моренные, покровные и лессовидные суглинки содержат значительно большее количество тяжелых металлов. До сих пор не существует широко применяемых технологий очистки земель сельскохозяйственного назначения от этих токсикантов. А проблема загрязнения этими веществами среды стоит очень остро и требует своего решения.

Молекулы и ионы загрязнителей в окружающей среде динамичны как в пространстве, так и во времени. В профиле почвы их распределение неравномерно: например, больше тяжелых металлов содержится в гумусовом слое, незначительное количество их наблюдается в иллювиальном и карбонатном горизонтах и совсем мало – в подзолистом. Дерновый процесс почвообразования способствует накоплению, а подзолистый процесс – вымыванию элементов и закреплению их в иллювиальном горизонте почвы.

Пока полностью не выяснен механизм поглощения и перемещения поллютантов по тканям растений. Однако предполагается, что накопление ионов веществ – загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, является проявлением попытки растения защитить жизненно важные структуры от избыточного поступления этих веществ. Начальным органом защиты растительного организма от токсикантов является корковая система корня. Защита сводится в основном к задержке избыточных ионов в корнях, к ограничению их поступления в важные обменные центры, репродуктивные и запасающие органы.

В результате содержание тяжелых металлов в корнях может быть в десятки раз больше, чем в наземных органах. При этом очевидна существенная специфика растений. Например, для клевера соотношение между содержанием тяжелых металлов в корнях и надземной части значительно меньше, чем для ячменя. В овощных культурах (капуста, свекла), наоборот, загрязненность в надземной части в 3–5 раз выше, чем в корнях. По отношению к разным тяжелым металлам защитные возможности растений проявляются неодинаково. Так свинец в основном задерживается уже в корнях, а кадмий – сравнительно легко проникает в надземные органы.

Зеленые растения способны извлекать из окружающей среды и концентрировать в своих тканях различные элементы, в том числе тяжелые металлы – например, мышьяк, кадмий, медь, ртуть, селен, свинец, а также радиоактивные изотопы стронция, цезия, урана и другие радионуклиды. Растительную массу не составляет особого труда собрать и сжечь, а образовавшийся пепел или захоронить, или использовать как вторичное сырье. Применение для очистки среды растений стало эффективным и экономически выгодным методом только после того, как были обнаружены растения–гипераккумуляторы поллютантов, способные накапливать в своих тканях значительное количество никеля, цинка или меди в пересчете на сухой вес – то есть в десятки раз больше, чем обычные растения (табл. 1).

Например, в качестве аккумуляторов соединений тяжелых металлов рекомендуются такие распространенные культуры, как горчица (количество накопленной меди – 190 мкг/г, цинка 100 мг/г, свинца – 9,4 мг/г), клевер (количество накопленной меди – 180 мкг/г, цинка 42 мг/г, свинца – 3,6 мг/г) и овёс (количество накопленной меди – 185 мкг/г, цинка 125 мг/г, свинца – 1,4 мг/г).

Таблица 1 – Предельные концентрации различных металлов у растений-сверхнакопителей

| Содержание металла, мкг/г сухой массы | Накопление металла, % от сухой массы | Накапливаемый металл |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 100                                   | 0,01                                 | Cd, As               |
| 1000                                  | 0,10                                 | Co, Cu, Cr, Pb       |
| 10000                                 | 1,00                                 | Mn, Ni               |

Этот способ удаления загрязнителей почвы с помощью специально выращиваемых растений получил название фитоэкстракции. Фитоэкстракция – использование естественных растений аккумуляторов, способных накапливать поллютанты в надземных органах специально выведенных сортов растений и определенных обработок почвы для переноса элемента-загрязнителя в надземные части растения, которые затем утилизируются. Данная технология главным образом используется для очистки от неорганических поллютантов (металлы, селен, мышьяк, радионуклиды).

В сложившихся в настоящее время системах земледелия выращивание культур организовано в большинстве случаев в форме севооборотов. Известно, что в большинстве случаев севооборот эффективнее возделывания монокультуры. Севооборотом отчасти решаются вопросы засоренности поля. Использованием севооборота можно решать проблемы борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений. Введение в севооборот сидератов, промежуточных культур, активных паров способствует активизации почвенной микрофлоры.

Уже имеется опыт использования фиторемедиации в качестве метода очистки значительных площадей от поллютантов. С целью интенсификации и увеличения эффективности процесса, видимо, целесообразно применять специальные севообороты, включающие возделывание гипераккумуляторов, технологии стимулирования почвенной микрофлоры, возделывание культуры-предшественника гипераккумулятора, а также стадии, способствующие оптимизации условий выращивания гипераккумулятора как основной культуры специального севооборота.

С учетом климатических и почвенных условий, состава основных загрязнителей, технологий дальнейшего использования урожая, со-

держашего фитоэкстрагированные загрязнители, можно разработать оптимальный севооборот для практически любого поля. Например, для очистки широко распространенной в Волго-Вятском регионе России светло-серой лесной почвы от соединений тяжелых металлов можно чередовать клевер, овес, кормовую свеклу, горчицу в качестве сидерата и чистый пар с внесением минеральных удобрений для активизации почвенной микрофлоры и борьбы с сорняками, вредителями и болезнями культур. Конечно, основной целью такого севооборота следует считать удаление из почвы избытка поллютанта, а не получение продовольственного или фуражного урожая. Очевидно, фитоэкстракция загрязнителей из почв будет иметь смысл только в случае полного прекращения загрязнения данной территории газопылевыми и другими выбросами техногенного происхождения.

При этом вся доступная растительная масса должна удаляться с поля. В дальнейшем полученная биомасса может быть использована как топливо, как сырье для получения биогаза или с другой целью, но с учетом исключения возможности возврата содержащихся в ней загрязнителей в окружающую среду. Полученную от сжигания урожая, содержащего, например, тяжелые металлы, золу можно использовать как сырье для получения этих веществ с целью дальнейшего хозяйственного использования, рекуперации.

Естественно, что применение специального севооборота приведет к временному выведению поля из нормального режима эксплуатации. Однако экономический эффект от использования урожая специального севооборота как сырья и топлива способен частично погасить возникающие при этом потери. А очищенное путем фиторемедиации до степени пригодности для сельскохозяйственного использования поле, дающее урожай незагрязненных безопасных продуктов, нужно оценивать уже не только с экономических позиций, но и как вклад в реализацию концепции Устойчивого развития.

При принятии решения о выборе конкретного севооборота для проведения фитоэкстракции необходимо, во-первых, иметь достоверную информацию о перечне и содержании поллютантов, против которых направлен процесс. Эту информацию с высокой степенью достоверности можно получить, поскольку методики количественного и качественного анализа любого материала известны. Во-вторых, желательно подобрать в севообороте среди культурных или местных диких растений виды, производящие большую биомассу и максимально аккумулирующие тяжелые металлы в надземной биомассе без выраженных признаков фитотоксичности, растения таким образом, чтобы процесс происходил максимально эффективно, то есть знать потенциаль-

ные возможности растений накапливать в разных частях организма имеющиеся поллютанты. Эта сторона на сегодня исследована пока недостаточно. В качестве фитоэкстракторов успешно применяли горчицу *Brassicajuncea* и подсолнечник *Helianthusannuus* (неорганические поллютанты) [2]; бурачок Бертолонии *Alyssumbertolonii* (никель); марь белую *Chenopodiumalbum* L. (свинец, цинк, кадмий); лебеду туркменскую *Atriplexleucoclada*, лох узколистый *Eleagnusangustifolia* L., спорыш обыкновенный *Polygonumarenastrum* (свинец, цинк, кадмий). Однако перечень исследуемых растений ограничен, а результаты, полученные в различных опытах, значительно отличаются друг от друга.

С целью сохранения сельскохозяйственных земель от загрязнения и возврата в оборот загрязненных антропогенными поллютантами-почвенобходима полномасштабная апробация технологии фитоэкстракции загрязнителей из почв на различных территориях. Особое значение приобретает апробация данной технологии при восстановлении сельскохозяйственных земель в регионах с так называемой перекрывающейся промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, что позволило бы возвратить загрязненные дефицитные пахотные земли в севооборот.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бельков В. М. Методы, технологии и концепции утилизации углеродосодержащих промышленных и твердых // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» – Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ). – №11. – 2007. Источник: <http://www.energospace.ru>.
2. Писаренко Е. Н. Восстановление сельскохозяйственных земель, загрязненных тяжелыми металлами при различных уровнях засоления // 21 Молодые ученые – наука и производство: Материалы конференции молодых ученых. Саратов: изд-во СГТУ, 2007. С. 162–164.
3. Г. Г. Хайруллина, Э. М. Зайнутдинова Очистка почв от нефтепродуктов при помощи растений и ассоциированных с ними микроорганизмами // Актуальные проблемы науки и техники, сборник трудов 4 международной научно – практической конференции молодых ученых. Уфа, издательство «Нефтегазовое дело» 2012. С. 107.

## **PHYTOEXTRACTION AS A WAY TO USE PHYTOREMEDIATION OF AGRICULTURAL SOIL**

***Keywords:** bioremediation of soils, soil pollution, soil pollutants, special crop rotation, phytoremediation, phytoextraction.*

***Annotation.** The problem of necessity of bioremediation of soils contaminated by man-made pollutants, an overview of the experience of the biological treatment techniques and, in particular, phytoextraction of arable lands are considered. The use of special crop rotations to clean anthropogenic pollutants from agricultural lands.*

---

**МАРТЬЯНЫЧЕВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Основы сельского хозяйства, химии и экологии», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (mav59@list.ru).

**MARTYANYCHEV ALEKSANDR VLADIMIROVICH** – candidate of agricultural sciences, docent of «Bases of agriculture, chemistry, ecology», Nizhny Novgorod state engineering and economic institute, Russian, Knyaginino, (mav59@list.ru).

---