

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ДОЛИНЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ,  
ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ,  
АКТИНОИДАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Докт. техн. наук, проф. ШАРОВАРОВ Г. А., асп. МИНЮК З. П.**

*Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»  
НАН Беларуси*

В связи с уменьшающимися запасами ископаемых энергоносителей, ухудшением экологии, связанным с выбросами парниковых газов, а также с необходимостью обеспечения государственной энергетической безопасности в мире ведутся интенсивные работы по возобновляемым собственным источникам энергии. Однако для индустриального развития биоэнергетики необходимо освоить большие территории. В мире непрерывно увеличивается количество территорий, загрязненных радионуклидами, актиноидами, тяжелыми металлами и другими вредными веществами. Только в результате Чернобыльской катастрофы было загрязнено более 160 тыс. квадратных километров территорий Беларуси, Украины и России. Они становятся зонами отчуждения, заповедниками и являются источниками реальной опасности для соседних территорий и государств. Преобразование загрязненных территорий в экологически безопасные системы позволит использовать их для промышленного производства биотоплива.

Нужна ли нашей республике биоэнергетика? Доля природного газа в общем балансе ТЭР Беларуси превышает уровень 76 %, а в Белорусской энергосистеме – 93 %. Республика Беларусь импортирует от 20 до 30 % потребляемой электроэнергии. Обычно не рекомендуется импортировать более 30 % топливно-энергетических ресурсов из одной страны, чтобы не быть зависимым от сырьевых источников. Энергетическое производство Беларуси выбрасывает в окружающую среду 9 т парниковых газов в год на каждого жителя республики, из них 2,8 т принадлежит теплоэнергетике. В то время как средний выброс на одного жителя планеты равен 3 т в год.

Беларусь идеально подходит для развития экологически чистой биоэнергетики благодаря наличию больших загрязненных территорий, которые можно преобразовать в энергетически чистые долины. Поэтому данная работа посвящена анализу возможности преобразования загрязненных территорий Беларуси в энергетические долины для производства чистых биоэнергоносителей. Под энергетическими долинами подразумеваются экологически сбалансированные регионы, в которых с помощью специальных растений выращивается энергоэффективная биомасса, производится топливо и вырабатывается электрическая и тепловая энергия.

Процесс преобразования состоит из трех этапов.

На первом этапе производится преобразование загрязненных территорий в экологически безопасные системы с утилизацией грязной биомассы для производства чистых энергоносителей. Для этой цели используются специальные растения-гипераккумуляторы.

На втором этапе осуществляется преобразование экологически безопасных систем в энергетические долины для промышленного производства биотоплива на основе существующих растений, сертифицированных к конкретным типам энергоносителей.

На третьем этапе энергетические долины будут производить все виды энергоносителей на основе аналитически сконструированных растений с высокими энергосодержащими характеристиками и высокоэффективными термодинамическими бинарными циклами на основе существующих газо- и паротурбинных установок и перспективных разработок с использованием в качестве биотоплива водорода и карнотизации термодинамического цикла с коэффициентом полезного действия более 65 %. Под термином «биоэнергоносители» мы понимаем все виды биотоплива (биогаз, этанол, метанол, растительные масла и др.), электрическую и тепловую энергии, полученные при сжигании биотоплива.

Технология выполнения первого этапа преобразования больших загрязненных территорий в энергетические долины должна отвечать двум основным требованиям:

- после дезактивации почва должна быть пригодна для всех видов сельскохозяйственных работ и нормальной жизнедеятельности;
- процесс дезактивации должен строиться на принципе самокупаемости за счет утилизации технологических продуктов.

Таким образом, предлагаемый нами технологический процесс первого этапа содержит следующие работы:

- дезактивацию с помощью растений-гипераккумуляторов;
- утилизацию радиоактивной биомассы;
- переработку и захоронение радиоактивных отходов.

Авторы данной статьи на основании теоретических и экспериментальных исследований давно пришли к выводу о том, что единственным приемлемым решением для выполнения первого этапа является создание «бионасоса», способного выносить вредные вещества из почвы на основе выбора индивидуальных стимуляторов, способствующих эффективному выносу этих веществ в растения. При этом самокупаемость может быть достигнута за счет утилизации продуктов очистки.

В последнее время усилия ученых разных стран сосредоточены на разработке методов возрождения земель, выведенных из обычного хозяйственного использования, и преобразования их в экологически безопасные системы. Украинское государственное специальное предприятие «Техноцентр» разрабатывает проект по дезактивации загрязненной территории площадью 100 км<sup>2</sup> с помощью специальных растений. Успешный опыт экспериментов позволит применять данный метод на территории Украины, загрязненной радионуклидами. Белорусские ученые сотрудничают с украинскими по этому научному направлению. Фирма Phytotech (USA) предлагает технологию биоремедиации почв от радионуклидов и актиноидов. Немецкий ученый Роланд Мегнет разрабатывает методы применения сахалинской гречихи *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt для очистки территорий от свинца, кадмия и цинка. Получены следующие экспериментальные результаты: при урожае 300 т биомассы с 1 га земли за 1 год извлечено

1,3 кг кадмия, 24 кг свинца, 322 кг цинка [1]. В США ведутся работы по очистке почв с помощью растений семейства Brassicaceae.

Белорусские ученые совместно с российскими и французскими специалистами провели экспериментальные и теоретические исследования по использованию *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt для очистки территорий от цезия-137 и стронция-90. Проведенные исследования показали принципиальную возможность создания «бионасоса» с коэффициентом накопления выше 20 [2]. В Беларуси совместно с российскими учеными выполнен международный проект ISTC-B-247 «Реабилитация объектов окружающей среды, загрязненных радионуклидами». На экспериментальных участках были определены коэффициенты накопления, распределение активности по вегетативным органам растений. Определены пути увеличения коэффициентов накопления за счет введения в почву стимулирующих веществ, которые образуют с радионуклидами и актиноидами устойчивые, но растворимые комплексные соединения, доступные для корневой системы. В настоящее время белорусские и российские ученые разрабатывают различные сценарии преобразования объекта «Укрытие» и загрязненных территорий России, Беларуси и Украины в экологически безопасные системы на основе топливного, радионуклидного и материального баланса Чернобыльской катастрофы и долгосрочного радиоэкологического прогноза.

Для этой цели в ОИЭЯИ–Сосны НАН Беларуси разработана база данных по миграционным и энергетическим характеристикам растений. На основании проведенных исследований показано, что для очистки почвы от радионуклидов целесообразно использовать культуры типа *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt, амарант и др. Ниже представлена характеристика *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt**

Латинское название	<i>Polygonum Sachalinense</i> F. Schmidt
Русское название	Горец сахалинский
Код	PlgSac
Почва	Обычная садовая (плодородная оструктуренная)
Окраска листьев	Зеленые
Начало вегетации	Май
Конец вегетации	Сентябрь
Окраска цветков	Розовые
Начало цветения	Июль
Конец цветения	Июль
Высота	300 см
Ширина (диаметр кроны)	100 см
Максимальный урожай	300 т/га
Корневая система	Развитая
Технологичность	Многолетняя
Освоение	Широкое
Область применения	Очистка почвы от радионуклидов, пестицидов, тяжелых металлов и других вредных веществ, производство энергоносителей, кормовая и декоративная культура

Для технологического процесса утилизации радиоактивной биомассы разработаны следующие требования:

- технология утилизации должна быть обоснована экспериментальными данными и уровень развития должен отвечать коммерческому применению;
- процесс утилизации не должен приводить ко вторичному загрязнению окружающей среды радионуклидами;
- количество персонала, обслуживающего технологический процесс утилизации, должно быть минимальным с обеспечением всех норм радиационной безопасности;
- технико-экономические показатели технологии утилизации должны обеспечивать самоокупаемость процесса дезактивации.

Научные основы необходимости и возможности дезактивации загрязненных территорий разработаны в ИРЭП НАН Беларуси на основе лабораторных и полевых исследований.

Экспериментально получено в полевых условиях за один год снижение концентрации стронция-90 на 30 %, а в лабораторных условиях – на 40 %.

Энергия радиоактивной биомассы может быть получена двумя путями: непосредственным сжиганием и сжиганием после глубокой переработки. С учетом основных характеристик гипераккумуляторов возможны различные варианты переработки радиоактивной биомассы: выделение целлюлозы, гидролиз и образование простых сахаров, выделение биологически активных веществ (флавоноидов), обладающих фармакологическим действием, пиролиз, газификация и др.

Были проведены исследования элементного состава различных видов топлива, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнительный элементный состав *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt и различных видов топлив**

Вид материала	Состав горючей массы, %				
	углерод	водород	кислород	азот	сера
Гречиха сахалинская	45,3	5,96	43,3	1,27	0,0
Лигнин	60–66	5,4–6,5	34,6–27,5	–	–
Дрова	51	6,1	42,3	0,6	–
Торф	54–63	5,9	34,8	2,0	0,3
Бурый уголь	55–80	3,8–6,3	17–27	1–3	До 3
Каменный уголь	45–90	4,5–5,5	4,5–15	–	До 6

На основании экспериментальных и теоретических исследований определена активность продуктов сгорания. Основная доля активности содержится в золе. Методом последовательной термообработки установлено, что зольность основных вегетативных органов растения составляет 2,13 (для листьев) и 1,76 % (для стеблей). С учетом данных о массовом распределении вегетативных органов в растениях термообработка радиоактивной биомассы *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt позволяет уменьшить количе-

ство радиоактивных отходов приблизительно в 50 раз (зольность – 1,95 %). Поэтому золу, которая образуется при сжигании радиоактивной биомассы, можно отнести к категории радиоактивных отходов только в том случае, если содержание цезия-137 в зеленой массе составляет не менее 200 Бк/кг. Состав химического анализа зольных отходов представлен в табл. 3.

Таблица 3

Результаты химического анализа зольных отходов

Образец	Состав образца, % по массе (растворенная часть образца)									
	Na	Mg	Al	P	K	Ca	Fe	Zn	Mn	Cr
Зола листьев горца сахалинского	1,87	7,35	0,77	≤5	9,75	18,1	1,2	0,13	0,03	0,07
Зола стеблей горца сахалинского	1,09	2,77	0,15	≤5	22,6	15,3	0,94	0,15	0,007	0,06

Переработка и захоронение большого количества радиоактивных отходов являются сложной, но решаемой задачей. На основании проведенных исследований определено, что объем радиоактивных отходов после преобразования загрязненных территорий в экологически безопасные системы не будет превышать объемы существующих уже на территории республики пунктов захоронения радиоактивных отходов. При этом необходимо учесть, что сегодня без каких-либо средств защиты на загрязненных территориях Беларуси находится большой запас активности радионуклидов и актиноидов и перемещение их из почвы в могильники позволит Беларуси перейти из зоны экологического бедствия в экологически чистое государство. Твердые и жидкие радиоактивные отходы процесса утилизации можно перерабатывать по технологиям, разработанным в ОИЭЯИ-Сосны. Оригинальность разработок подтверждена патентами. В настоящее время в технологии обращения с радиоактивными отходами принят метод их иммобилизации в форме, пригодной для захоронения. В разных странах используются различные технологии отверждения: в России – остекловывание в виде фосфатных стекол, во Франции и Германии – в виде боросиликатных и т. д., что позволяет выбрать наиболее эффективное решение для радиоактивных отходов биомассы. Система утилизации радиоактивной биомассы предусматривает использование средств защиты от выноса в атмосферу летучих радиоактивных газов на основе разработок французской фирмы AREVA, которая обеспечивает чистоту уходящих газов в соответствии с международными нормативными документами. Разработана методика выбора оптимальной технологии переработки и захоронения отходов радиоактивной биомассы, которые образуются при подготовке топлива, сжигании, переработке золы, фильтрации дымовых газов и дезактивации оборудования. Создана методика обоснования радиационной безопасности комплексного технологического процесса при нормальных условиях эксплуатации, при проектных авариях и чрезвычайных ситуациях.

Теоретически из загрязненной почвы необходимо извлечь всего лишь 4,1 кг радионуклидов и актиноидов с объемом 2,16 л.

В табл. 4 представлен выход летучих веществ для разных видов топлива.

Таблица 4

**Выход летучих веществ на горючую массу для разных видов топлива**

Вид топлива	Выход летучих веществ на горючую массу, %
Биомасса гречихи сахалинской	76,4
Торф	70,0
Дрова	85,0
Горючие сланцы	80–90
Каменный уголь Донецкого бассейна	4–43

На основании этих данных в настоящее время ведутся работы по созданию проекта опытного комплекса, который включает:

- опытное сельское хозяйство;
- опытную энергоустановку с КПД более 60 %;
- производство тепло- и электроэнергии.

Для изготовления опытной парогазовой энергоустановки рассматриваются:

- 1) базовая паротурбинная установка – разработка российских заводов;
- 2) базовая газотурбинная установка – разработка научно-исследовательского предприятия «Машпроект» (Украина).

Установка изготавливается и поставляется в блочно-контейнерном исполнении в полной комплектации и состоит из отдельных блоков: блока газотурбинного двигателя и блока электрогенератора.

Из проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что дезактивация территорий Беларуси, загрязненных радионуклидами и актиноидами, необходима и вполне реальна с использованием самокупаемой технологии очистки, где самокупаемость достигается за счет производства чистых энергоносителей из радиоактивной биомассы. Проведенные исследования показали, что первый этап может быть проведен за 7–10 лет в зависимости от выбора технологического процесса преобразования.

Таким образом, имеется достаточный экспериментальный и теоретический материал у нас и за рубежом для разработки технологий преобразования загрязненных территорий в экологически безопасные системы с утилизацией грязной биомассы для производства чистых энергоносителей.

На втором этапе осуществляется преобразование экологически безопасных систем в энергетические долины для промышленного производства биотоплива на основе существующих растений, сертифицированных к конкретным типам энергоносителей. После завершения первого этапа преобразования будут получены все условия для крупномасштабного производства биомассы на энергетических плантациях.

Процесс конверсии биомассы в топливо может осуществляться несколькими технически возможными конкурентными способами: биологическими, биохимическими, химическими, термохимическими. При этом можно получать биогаз, этанол, метанол, водород, растительные масла, метан и другие типы биоэнергоносителей.

В мире уже имеется большой опыт по производству биоэнергоносителей, который может быть использован при создании белорусских энерге-

тических долин. В прошлом году в штаб-квартире ООН было объявлено о создании Международного форума по биологическим видам топлива. В его состав вошли Бразилия, Китай, Индия, ЮАР, США и Евросоюз. Озабоченные проблемой грядущего дефицита нефти, все эти страны делают ставку на биоэтанол. Большинство исследований по созданию моторного топлива направлено на получение этанола из сахарного тростника, зерна, сахарной свеклы, рапса. В Бразилии моторное топливо делают из сахарного тростника, в США – из кукурузы, в Европе – из рапсового масла. В 2005 г. в США было произведено 19,4 млн т этанола, в Бразилии – 19,2 млн т. В 2008 г. во Франции будет произведено 2,3 млн т биотоплива. Имеющийся в Германии потенциал энергоемких растений профессор Шеффер из университета Кассель-Витценхаузен оценивает в 56 млн т условных единиц сырой нефти. Из этого количества теоретически можно произвести 30 млн т биотоплива второго поколения, которого хватит для покрытия 50 % нынешней потребности Германии в горючем, включая и воздушный транспорт. В Беларуси уже ведутся работы по производству биотоплива из семян рапса. По информации заместителя министра сельского хозяйства и продовольствия Беларуси В. Павловского в прошлом году в стране было произведено 147 тыс. т семян рапса. К 2010 г. Беларусь должна произвести 600 тыс. т семян рапса ежегодно. По прогнозам экспертов, через несколько лет производство масличных не сможет удовлетворять растущий спрос на биотопливо, поэтому будет увеличиваться роль других видов сырья, например быстрорастущих и аналитически сконструированных растений. В мире уже существует около 100 млн га земли, которая используется для плантаций быстрорастущих культур. В Италии уже запущен крупный комплекс по производству жидкого топлива из биомассы быстрорастущих растений. В США создается завод по производству биотоплива из генетически модифицированных быстрорастущих растений. Главными параметрами при выборе видов быстрорастущих растений являются: наличие вида на местном рынке, простота технологического процесса, устойчивость развития в местных климатических условиях и производительность. Для производства жидких топлив могут быть использованы различные культуры: рапс, подсолнух, мискантус, соя, сахарная свекла, сорго, *Polygonum Sachalinense* F. Schmidt, топинамбур, тополь, ива, верба и др.

Энергетическая эффективность разных видов растений определяется производительностью биоэнергосистем с 1 га сельхозугодий. В табл. 5 приведены данные по энергетической эффективности разных видов растений [2, 3].

Преобразование загрязненных сельскохозяйственных земель в энергетические долины для производства биоэнергосистем на втором этапе позволит получить более 40 млн т у. т. в год. Это полностью обеспечит все энергетические потребности Беларуси и позволит производить импорт энергосистем.

На третьем этапе энергетические долины будут производить все виды энергосистем на основе аналитически сконструированных растений с высокими энергосодержащими характеристиками, высокоэффективными термодинамическими циклами с КПД более 65 %.

Таблица 5

**Энергетическая эффективность разных видов растений,  
используемых для производства биотоплива**

Вид	Энергетический выход, т у. т./га год
Картофель	0,24
Рапс	0,3–1,3
Меласса тростниковая	1,25
Кукуруза	1,67
Пшеница	2–3
Кассава	2,27
Сахарный тростник	2,5–5,76
Сахарная свекла	3,5–4,6
Salix (Ива)	6–8
Мискантус	10–11,6
Сорго	12–15
Топинамбур	15–18
Polygonum Sachalinense F. Schmidt	20–25
САР (сконструированные аналитически растения)	45

Анализ работ по аналитическому конструированию специальных топливопроизводящих растений показывает, что уже через 15 лет энергетические долины смогут дать 60 млн т у. т. в год. Эти данные получены из условия производительности перспективного биотоплива 45 т у. т./га год (табл. 5) с учетом затрат на его выращивание и последующую переработку.

### ВЫВОД

В настоящее время имеется большой теоретический и экспериментальный опыт для разработки научного обоснования необходимости и возможности преобразования загрязненных территорий нашей республики в экологически чистые энергетические долины. Создание белорусских энергетических долин позволит не только полностью обеспечить республику всеми видами экологически чистых биоэнергонаосителей, но и сделать их белорусским товаром импорта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Metz, R. Sachalinkneterich (Polygonum oder Reynourtia sachalinense) – eine alternative Pflanze zur Dekontamination von Schwermetallbelasteten Rieselfeldern? / R. Metz, B. M. Wilke // VDLUFA Schriftenreihe, 1994. – № 38. Alternativen in der Flachennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlichen Producten. – S. 773–776.
2. Р е з у л ь т а т ы исследования в обоснование возможности применения горца сахалинского (Polygonum Sachalinense F. Schmidt) для фитодезактивации / А. В. Башарин [и др.]. – Минск, 2002. – 41 с. – (Препринт / НАН Беларуси, Объед. ин-т энерг. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ-1).
3. М а л а я энергетика на биотопливе / А. В. Вавилов [и др.]. – Минск: УП «Техно-принт», 2002. – 248 с.

Представлена лабораторией  
моделирования процессов переноса загрязнений  
в объектах окружающей среды

Поступила 06.06.2008