PNNL-SA--29991
CONF-980260--Proc.
RECEIVED
1998
OSTI

Proceedings of the Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop

February 23-25, 1998
Chornobyl Center for Nuclear Safety,
Radioactive Waste and Radioecology
Slavutych, Ukraine

Office of Nonproliferation and National Security
U.S. Department of Energy

June 1998

MASTER

HH

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

DISCLAIMER

This report was prepared as an account of work sponsored by an agency of the United States Government. Neither the United States Government nor any agency thereof, nor Battelle Memorial Institute, nor any of their employees, makes **any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights.** Reference herein to any specific commercial product, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof, or Battelle Memorial Institute. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof.

PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY
operated by
BATTELLE
for the
UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY
under Contract DE-AC06-76RLO 1830

Printed in the United States of America

Available to DOE and DOE contractors from the Office of Scientific and Technical Information, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831; prices available from (615) 576-8401.

Available to the public from the National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161

This document was printed on recycled paper.
(9/97)

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

МАТЕРИАЛЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЕМИНАРА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ

23 - 25 февраля 1998 г.
Чернобыльский Центр по ядерной безопасности, радиоактивным отходам и радиационной экологии
Славутич, Украина

Офис Нераспространения и Национальной безопасности
Министерство Энергетики США

Июнь 1998 г.

ЮРИДИЧЕСКАЯ ОГОВОРКА

Настоящее сообщение подготовлено в качестве доклада по работе, финансировавшейся агентством Правительства Соединенных Штатов Америки. Ни Правительство Соединенных Штатов Америки, ни любые его агентства, ни Мемориальный Институт Баттелл, ни любые их сотрудники не дают **никаких гарантий, прямо выраженных или подразумеваемых, не берут на себя никаких юридических обязательств или ответственности за точность, полноту и полезность любой изложенной информации, аппаратуры, продукции или процесса, а также не утверждают, что их использование не повлечет нарушение находящихся в частном владении прав.** Ссылки в настоящем издании на любую конкретную коммерческую продукцию, процесс или службу, сделанные в виде упоминания торгового имени, торговой марки, изготовителя или каким-либо другим образом не обязательно высказывают или подразумевают их одобрение, рекомендацию или благоприятствование со стороны Правительства Соединенных штатов Америки, любого его агентства или Мемориального Института Баттелл. Выраженные в издании взгляды и мнения авторов не обязательно совпадают с мнениями Правительства Соединенных Штатов Америки или любого его агентства.

ТИХООКЕАНСКАЯ СЕВЕРО–ЗАПАДНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
работа которой ведется
ИНСТИТУТОМ БАТТЕЛЛ
для
МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ АМЕРИКИ
по Контракту DE–AC06–76RLO 1830

Отпечатано в Соединенных Штатах Америки

Предоставляется DOE и подрядчикам DOE Офисом Научной и Технической информации по адресу: Office of Scientific and Technical Information, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831; информацию о ценах можно получить по телефону (615) 576-8401.

**Предоставляется для общественного распоряжения Национальной Службой Технической Информации
по адресу National Technical Information Service,
U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161**

Настоящее издание отпечатано на подвергшейся вторичной переработке бумаге.

PNNL-SA-29991

RECEIVED
AUG 12 1998
OSTI

Proceedings of the Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop

February 23-25, 1998
Chornobyl Center for Nuclear Safety,
Radioactive Waste and Radioecology
Slavutych, Ukraine

June 1998

Prepared for
the U.S. Department of Energy
under Contract DE-AC06-76RLO 1830

Pacific Northwest National Laboratory
Richland, Washington 99352

PNNL-SA-29991

МАТЕРИАЛЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЕМИНАРА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ

23 - 25 февраля 1998 г.
Чернобыльский Центр по ядерной безопасности, радиоактивным отходам и радиационной экологии
Славутич, Украина

Июнь 1998 г.

Подготовлено для
Министерства энергетики США
по Контракту DE–AC06–76RLO 1830

Тихоокеанская северо-западная национальная лаборатория
ричлэнд, штат вашингтон 99352

FOREWORD

Jim Hartley
Pacific Northwest National Laboratory; Richland, Washington

The primary goal of the workshop was to review and evaluate a concept of phytoremediation to extract radionuclides from the soil and near-surface groundwater combined with biomass energy production to use the contaminated biomass from phytoremediation as well as other contaminated biomass in the Chornobyl Site Exclusion Zone (CEZ).

Fifty-five knowledgeable representatives from government and industry in Ukraine, Russia, Belarus, Denmark, and United States gathered at the Slavutych Laboratory for International Research and Technology, Slavutych, Ukraine, to discuss this concept. Thirty presentations were made covering

1. Proposed Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Project
2. Chornobyl Exclusion Zone Contamination Characterization
3. Overview of Ongoing Projects
4. Phytoremediation and Biomass Resource Assessment
5. Energy Conversion Systems
6. Radioactive Waste Management, Environmental and Worker Health
7. Economics and Financial Approach.

Many concepts, technologies, and ideas were shared during the course of the workshop as well as proposed next steps. The basis for the discussion was a proposal prepared jointly by Technocentre, State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste of Ukraine and Oak Ridge National Laboratory (ORNL).

The following proceedings provide the workshop agenda, workshop summary and conclusions, abstracts of presentations, presentations, and the list of attendees.

Thanks to Dr. Tokarevsky, Director General, Technocentre, who worked very hard to bring about this workshop and create an opportunity to exchange information and ideas related to the Technocentre's and ORNL's proposed project.

The presentation abstracts are in both Russian and English, and the complete presentation is included as submitted in the presenter's native language.

The address list of presenters and attendees is included in the final section.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Джим Хартли
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, штат Вашингтон

Основная задача семинара заключалась в проведении рассмотрения и изучения концепции восстановления при помощи растительности для извлечения радионуклидов из почвы и приповерхностных подземных вод в сочетании с выработкой энергии из биомассы путем использования получаемой в ходе восстановления при помощи растительности загрязненной биомассы, а также другой загрязненной биомассы в Чернобыльской Зоне отчуждения.

Для обсуждения этого принципа в Лаборатории по международным исследованиям и технологии в Славутиче собрались пятьдесят пять представителей Правительств и промышленности Украины, России, Беларуси, Дании и Соединенных Штатов Америки. Было сделано тридцать докладов, охватывавших

1. Чернобыльскую Программу по восстановлению при помощи растительности и преобразованию биомассы в энергию
2. Определение свойств загрязняющих веществ в Чернобыльской Зоне отчуждения
3. Обзор проводимых проектов
4. Оценку восстановления при помощи растительности и запасов биомасс
5. Системы преобразования в энергию
6. Обращение с радиоактивными отходами, состояние окружающей среды и охрану здоровья работников
7. Экономические и финансовые подходы.

На протяжении семинара были освещены множество концепций, технологий и идей, а также представлены предлагаемые следующие шаги. Основой обсуждения стало предложение, подготовленное совместно Техноцентром Украины и Окриджской Национальной Лабораторией (ОНЛ).

Приводимые ниже материалы представляют повестку дня семинара, краткое изложение семинара и выводов, выдержки из докладов, доклады и список участников.

Благодарим д–ра Токаревского, который очень интенсивно работал над проведением данного семинара и созданием возможности проведения обмена информацией и идеями, связанными с предлагаемым проектом Техноцентра и Окриджской Национальной Лаборатории.

Выдержки из докладов приводятся на русском и английском языках, а доклады полностью включены в том виде, в каком они были поданы на родном языке докладчиков.

Список участников и присутствовавших на семинаре с их адресами включен в заключительный раздел.

OVERALL ASSESSMENT

Jim Hartley
Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington

Vladimir Tokarevsky
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste, Ukraine

Many concepts, systems, technical approaches, technologies, ideas, agreements, and disagreements were vigorously discussed during the course of the 2-day workshop. The workshop was successful in generating intensive discussions on the merits of the proposed concept that includes removal of radionuclides by plants and trees (phytoremediation) to clean up soil in the Chornobyl Exclusion Zone (CEZ), use of the resultant biomass (plants and trees) to generate electrical power, and incorporation of ash in concrete casks to be used as storage containers in a licensed repository for low-level waste.

Twelve years after the Chornobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) Unit 4 accident, which occurred on April 26, 1986, the primary radioactive contamination of concern is from radioactive cesium (^{137}Cs) and strontium (^{90}Sr). The ^{137}Cs and ^{90}Sr were widely distributed throughout the CEZ.

The attendees from Ukraine, Russia, Belarus, Denmark and the United States provided information, discussed and debated the following issues considerably

1. Distribution and characteristics of radionuclides in CEZ.
2. Efficacy of using trees and plants to extract radioactive cesium (Cs) and strontium (Sr) from contaminated soil. These trees and plants in turn would be part or all of the feedstock for the biomass energy conversion.
3. Selection of energy conversion systems and technologies.
4. Necessary infrastructure for biomass harvesting, handling, transportation, and energy conversion.
5. Radioactive ash and emission management.
6. Occupational health and safety concerns for the personnel involved in this work.
7. Economics.

The attendees concluded that the overall concept has technical and possibly economic merits. However, many issues (technical, economic, risk) remain to be resolved before a viable commercial-scale implementation could take place. In fact, many aspects of the proposed concept needs restructuring or refocusing to take advantage of the information and experience available from related work such as that being performed in Belarus.

Some of the specific conclusions were:

1. Phytoremediation using trees and plants appears to be very limited in its effectiveness in extracting ^{137}Cs and ^{90}Sr from Chornobyl soils and near-surface groundwater.
2. The majority of current biomass contamination in the CEZ is due to direct disposition of radionuclides.
3. The need for forest management may create an opportunity for biomass to be used in combined heat or power plants.

4. Energy conversion systems and technologies should be limited to proven and commercially available technologies. Combustion systems that meet this requirement are currently in use in Europe and the United States.

5. Ash disposal procedures and systems should be pursued that meet international regulatory requirements and minimize cost.

Removing radionuclides from the soil using trees and plants (phytoremediation) is different from simply harvesting the existing vegetation on the site and would require different approaches and harvesting/handling procedures. The principal contaminant of concern, cesium, is also the most recalcitrant. It sorbs strongly to clay particles in the soil. As a result, bioavailability for plant uptake is very slow. Data were presented that indicated that certain plant species are capable of accelerating the uptake process, but that further research is necessary to validate the use of these plant species.

As an alternative, the several workshop attendees suggested focusing on existing woody materials (trees) and plants (vegetation), rather than biomass from specialized phytoremediation.

Many options were discussed for converting the biomass in the CEZ to useful products, such as liquid fuels, gas, electricity, and heat. The only systems that are both proven and commercially available are combustion systems. Many of these systems are in use in Europe and the United States. The critical issue that remains to be addressed is the use of contaminated biomass and the resultant need for managing radioactive waste and emissions. Planned pilot-scale tests in Belarus will address this issue. The infrastructure necessary to support energy production from biomass, including roads, biomass harvesting, transportation, and pretreatment, is a major concern.

Former CEZ agricultural lands are reverting to forests and the majority of forests in the CEZ are in poor condition since they were planted at high density in anticipation of thinning as part of forestry management. The need for forestry management may create an opportunity for biomass to be used in combined heat and power plants. If the costs of fuel supply are considered to be part of forest management such as to avoid forest fires, then large-scale biomass power production may be economically attractive.

Many of the attendees have the background and experience that could help focus and direct this effort to a successful conclusion. To be successful, the proposed project should build directly from the ongoing Belarus project.

The overall conclusion was that while many serious questions still need to be resolved, the workshop participants agreed that the assessment of the proposed Ukrainian project should continue.

The next step suggested by the attendees and by Dr. Terry Lash (see below) is to form a project organizing committee that would be chartered and formed to 1) coordinate the efforts the various stakeholders and 2) provide the necessary project focus to answer the critical technical and economic issues through a focused project feasibility assessment. Selected government and private stakeholders from United States, Ukraine, Belarus, and others would carefully review the current proposals to clean up the Exclusion Zone using phytoremediation and biomass energy conversion and make recommendations on the most viable approach and next actions, including funding options.

Dr. Terry Lash, Office of Nonproliferation and National Security, U.S. Department of Energy, requested that proceedings be quickly prepared and disseminated so that researchers not present

could review and make comments, and interested countries could be made aware of the data and proposed work. In addition, he suggested that an "organizing committee" be established, that a set of overall and detailed goals be outlined, that R&D needs be identified, that the most promising path forward be identified, and that an economic assessment be conducted. He added that although Ukraine spending for Chornobyl is high, the total funds available for work in Chornobyl are less than what is needed and priorities for big projects need to be set.

Brian Castelli, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, agreed that proceedings will be important and added that consideration should be given to developing models for predicting the impact of important parameters, for example, what would be the effect of a major forest fire in the Exclusion Zone. Also of interest would be a perspective on potential non-radiological spin-off developments.

ОБЩАЯ ОЦЕНКА

Джим Хартли
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, штат Вашингтон

Владимир Токаревский
Государственная компания по обработке и захоронению смешанных опасных отходов, Украина

На протяжении двухдневного семинара было проведено оживленное обсуждение многих концепций, систем, технических подходов, технологий, идей, соглашений и расхождений. Семинар оказался успешным, вызвав интенсивные дискуссии по поводу достоинств предлагаемой концепции, включающей восстановление при помощи растительности с целью очистки почвы в Чернобыльской Зоне отчуждения (ЧЗО), использование создаваемой в результате биомассы (растений и деревьев) для выработки электроэнергии и включения золы в качестве добавки в бетон контейнеров, предназначенных для хранения низко радиоактивных отходов в лицензированном для этого хранилище.

Двенадцать лет спустя после аварии на энергоблоке 4 Чернобыльской Атомной Электростанции (ЧАЭС), произошедшем 26 апреля 1986 года, основными вызывающими загрязнение элементами являются радиоактивные цезий (^{137}Cs) и стронций (^{90}Sr). ^{137}Cs и ^{90}Sr широко распространены по Чернобыльской Зоне отчуждения.

Присутствовавшие на семинаре участники с Украины, из России, Беларуси, Дании и Соединенных Штатов Америки предоставили информацию. Они провели глубокое обсуждение и дебаты по следующим вопросам:

1. Распространение и характерные свойства радионуклидов в ЧЗО.

2. Эффективности использования деревьев и растений для извлечения из загрязненной почвы радиоактивного цезия (Cs) и радиоактивного стронция (Sr). Эти деревья и растения, в свою очередь, станут частью или полностью топливом для преобразования биомассы в энергию.

3. Выбора систем и технологий преобразования в энергию.

4. Необходимой инфраструктуры для сбора урожая биомассы, обращения с ней, ее транспортировки и преобразования в энергию.

5. Обращения с радиоактивной золой и меры по предотвращению выделений загрязняющих веществ в окружающую среду.

6. Охраны здоровья и безопасности работников, принимающих участие в такой работе.

7. Экономические вопросы.

Участники семинара пришли к заключению, что концепция в целом обладает техническими и вероятными экономическими достоинствами. Однако, до того, как будет

предпринята ее жизнеспособная реализация в коммерческом масштабе, необходимо разрешить многие вопросы (технические, экономические, наличия риска). По сути дела необходимо изменить структуру или изменить направленность многих аспектов предполагаемой концепции с тем, чтобы воспользоваться информацией и опытом, доступными в результате проведения схожей работы, такой как проводимой в Беларуси.

Некоторыми из конкретных заключений стали

1. Восстановление при помощи растительности с применением деревьев и растений, как представляется, обладает весьма ограниченной эффективностью для удаления ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвенных покровов и приповерхностных подземных вод в Чернобыле.

2. Основное загрязнение на сегодняшний день биомассы в ЧЗО является результатом непосредственного отложения радионуклидов.

3. Необходимость ведения лесного хозяйства может создать возможность для использования биомассы на станциях, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию.

4. Системы и технологии преобразования в энергию должны быть ограничены только зарекомендовавшими себя и коммерчески доступными технологиями. Отвечающие требованиям системы сжигания в настоящее время применяются в Европе и в Соединенных Штатах Америки.

5. Необходимо заниматься теми процедурами и системами захоронения золы, которые отвечают международным нормативным требованиям и сводят к минимуму затраты.

Удаление радионуклидов из почвы с использованием растений (восстановление при помощи растительности) отличается от простого сбора уже произрастающей в зоне растительности и потребует других подходов и процедур уборки растительности и обращения с нею. Важнейший загрязняющий элемент, Cr, является также и наиболее трудным для удаления. Стронций прочно сорбируется к глинистым частицам в почве. Как результат этого, биологическое аккумулирование и поглощение его растениями происходит очень медленно. Были представлены данные, указывавшие на то, что определенные виды растений способны ускорить процесс поглощения, однако для подтверждения полезности таких видов растений необходимо проведение дальнейшего изучения.

В качестве альтернативы несколько участников семинара сделали предложение, сводящееся к тому, что лучше сконцентрироваться на существующих древесных материалах (деревьях) и растениях (вегетации), чем на биомассе, возникающей в результате специально проводимого восстановления при помощи растительности.

Было обсуждено множество вариантов преобразования биомассы в ЧЗО в полезную продукцию, такую как жидкие виды топлива, газ, электричество и тепло. Системы сжигания являются единственными зарекомендовавшими себя и коммерчески доступными системами. Многие из таких систем на сегодня применяются в Европе и в Соединенных Штатах Америки. Серьезнейшим вопросом, остающимся нуждающимся в

разрешении, является использование подвергшейся загрязнению биомассы и вытекающая из этого потребность в обращении с радиоактивными отходами и борьбе с радиоактивными выделениями. Планируемые опытно–экспериментальные испытания в Беларуси обратятся к разрешению этого вопроса. Серьезным предметом является инфраструктура, необходимая для выработки энергии из биомассы, включая дороги, сбор урожая биомассы, транспортировку и предварительную обработку.

Бывшие сельскохозяйственные угодья ЧЗО превращаются в леса, а большинство лесных площадей в ЧЗО находятся в плохом состоянии, поскольку они представлены в основном шотландской сосной и высаживались с высокой густотой в расчете на их прореживание, проводимое в качестве части ведения лесного хозяйства. Необходимость ведения лесного хозяйства может создать возможность для использования биомассы на станциях, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию. Если рассматривать затраты на источники топлива в качестве части ведения лесного хозяйства, как к примеру избежания лесных пожаров, то тогда крупномасштабная выработка энергии из биомассы может стать экономически привлекательной.

Многие участники семинара располагают знаниями и опытом, которые могли бы помочь сфокусировать и направить данные работы в направлении их успешного завершения, в особенности те из участников, которые занимались Белорусским проектом. Другие могут оказать содействие этим работам, однако для достижения успеха предлагаемые проект должен строиться непосредственно от проводимого Белорусского проекта.

Заключением в целом стало то, что, несмотря на наличие многих серьезных вопросов, нуждающихся в разрешении, участники семинара серьезно согласились с необходимостью продолжения проведения оценки предлагаемого проекта на Украине.

Следующим шагом предложенным участниками семинара и д-ром Терри Лэшом (смотрите ниже) является создание организационного комитета проекта, который бы руководствовался и был сформирован для 1) координации усилий различных заинтересованных в проекте лиц и 2) для обеспечения необходимой сосредоточенности проекта на получении ответа на критически важные технические и экономические вопросы путем проведения целенаправленного технико–экономического обоснования проекта. Избранные заинтересованные лица со стороны Соединенных Штатов Америки, Украины, Беларуси и других стран проведут тщательное рассмотрение имеющихся предложений по очистке зоны отчуждения с использованием восстановления при помощи растительности и преобразования биомассы в энергию и вынесут рекомендации в отношении наиболее жизнеспособного подхода и следующих действий, включая варианты финансирования.

Д-р Терри Лэш, директор по атомной энергетике Офиса ядерной энергетики, науки и технологии Министерства Энергетики США, затребовал, чтобы материалы семинара были быстро подготовлены и распространены с тем, чтобы не присутствовавшие на нем исследователи смогли провести их рассмотрение и сделать свои комментарии, а заинтересованные страны смогли быть ознакомлены с данными и предлагаемой работой. В дополнение к этому он предложил, чтобы был создан «организационный комитет», изложен набор общих и детализированных задач, определены потребности в научно-

исследовательских и разработческих работах, определен наиболее обещающий путь продвижения и проведена экономическая оценка. Он добавил, что несмотря на то, что Украина несет высокие затраты на Чернобыль, общая сумма средств, имеющихся в наличии для работ в Чернобыле, ниже необходимой на их проведение, и для крупных проектов необходимо установить их приоритеты.

Брайан Кастелли, DAS/EE, согласился с тем, что материалы представят важность, и добавил, что необходимо принять во внимание разработку моделей для предсказания влияния важных параметров; к примеру, каков будет эффект серьезного лесного пожара в Зоне Отчуждения? Будет представлять интерес также и перспектива дальнейшего развития дел с избавлением от не радиологических загрязнений.

CONTENTS СОДЕРЖАНИЕ

FOREWORD iii

Jim Hartley
Pacific Northwest National Laboratory; Richland, Washington

ПРЕДИСЛОВИЕ v

Джим Хартли
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, штат Вашингтон

OVERALL ASSESSMENT

Jim Hartley
Pacific Northwest National Laboratory; Richland, Washington

Vladimir Tokarevsky
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste, Ukraine vii

ОБЩАЯ ОЦЕНКА

Джим Хартли
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, штат Вашингтон

Владимир Токаревский
Государственная компания по обработке и захоронению смешанных опасных отходов, Украина xi

SUMMARY AND CONCLUSIONS
КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Overview of the Radioecological Condition of the Chornobyl Exclusion Zone as a Project Site
A. Arkhipov
N. Kuchma
Chornobyl Scientific Technical Center of International Studies, Chornobyl

O. Bondarenko
Institute of Radiation Safety, Kiev

V. Derevets
Government Enterprise RADEK, Chornobyl

G. Lobach
Government Enterprise TEKHNOCENTER, Chornobyl 1

Обзор радиоэкологического состояния Чернобыльской Зоны отчуждения как места выполнения проекта
А. Архипов
Н. Кучма
Чернобыльский Научно–технический центр международных исследований, г. Чернобыль (ЧеЧЦМИ)

О. Бондаренко
Институт радиационной защиты, г. Киев

В. Деревец
ГП "РАДЕК", г. Чернобыль

Г. Лобач
ГСП "ТЕХНОЦЕНТР", г. Чернобыль 3

Phytoremediation
Gerald A. Tuskan
Oak Ridge National Laboratory; Oak Ridge, Tennessee 7

Восстановление при помощи растительности
Джеральд А. Тускан
Окриджская Национальная Лаборатория 9

Biofuel
Alexander Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus 11

Биотопливо
Александр Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь 15

Biomass Energy Conversion
Ralph Overend
National Renewable Energy Laboratory; Golden, Colorado 19

Преобразование биомассы в энергию
Ральф Оверенд
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии, Голден, штат Колорадо 23

Waste Management
Tom Early
Oak Ridge National Laboratory; Oak Ridge, Tennessee 25

Обращение с отходами
Томас Эрли
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси 27

CLOSING REMARKS 29

Vladimir Tokarevsky
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste, Ukraine

ЗАКОНЧЕННЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ВЫВОДЫ.....31

Владимир Токаревский
Государственная компания по обработке и захоронению смешанных опасных отходов, Украина

CHORNOBYL PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS ENERGY CONVERSION PROGRAM
ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ПРОГРАММА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ

Chornobyl Zone Activity Concept and General Approach to Exclusion Zone Rehabilitation
Nikolai I. Proskura
Restricted and Exclusion Zone Management, Ukraine.....33

Концепция активности Чернобыльской Зоны и общий подход к восстановлению Зоны отчуждения.
Николай И. Проскура
Организация Ограниченной и Зоны отчуждения, Украина.....35

Surface Contamination Clean-up of Land in the Ukraine CEZ
V. Tokarevsky
Technocentre, Ukraine
George Courville
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.....45

Содержание радиоактивного сезия в лесных и луговых угодьях около Чернобыля
В. Токаревксий
Техноцентр, Украина
Джордж Коурвилл
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси.....47

CHORNOBYL EXCLUSION ZONE CONTAMINATION CHARACTERIZATION
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities Near Chornobyl
Ron Chesser
Savannah River Ecology Laboratory, Aiken, South Carolina.....61

Радиационная экология и положение дел с биологическими воздействиями в Чернобыльской Зоне отчуждения
Рон Чессер
Экологическая Лаборатория Саванна–Ривер, Айкен, штат Южная Каролина 63

Radioecological Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov
Chornobyl Scientific Center for International Research, Ukraine

Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Center for International Research.....73

Радиологический анализ реализации проекта в Чернобыльской Зоне
Андрей Н. Архипов
Чернобыльский Научный Центр по международным исследованиям, Украина

Николай Д. Кучма
Чернобыльский Научный Центр по международным исследованиям.....79

The Radiation Situation of the External Surroundings in the Territory of the Chornobyl Exclusion Zone
Valerii V. Derevets
State Regional Environmental Monitoring and
Dosimetry Control Enterprise (DP RADEK), City of Chornobyl 107

Радиационное состояние внешней среды на территории Чернобыльской Зоны отчуждения
Валерий В. Деревец
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль.....109

Radiation Monitoring Criteria of Project Implementation
Oleg A. Bondarenko
Institute of Radiation Protection, Ukraine 123

Дозиметрические критерии реализации проекта
Олег А. Бондаренко
Институт Радиационной Защиты, Украина.....125

OVERVIEW OF ONGOING PROJECTS
ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

The Chornobyl Bioremediation Project
Larry Baxter
Sandia National Laboratories, Livermore, California.....133

Чернобыльский проект по восстановлению при помощи растительности
Лэрри Бакстер
Сандийские Национальные Лаборатории, Ливермор, штат Калифорния.....135

Overview of Argonne National Laboratory's Phytoremediation Program
R.R. Hinchman/Don Johnson/Cristina Negri
Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois.....149

Обзор Программы по восстановлению при помощи растительности Аргонской Национальной Лаборатории
Р.Р. Хинчмен / Дон Джонсон / Кристина Негри
Аргонская Национальная Лаборатория, Аргонн, штат Иллинойс.....151

Biomass Valorization and Remediation of Contaminated Land: Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP
A. Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus.....161

Валоризация биомассы и восстановление загрязненной земли: Обзор совместных международных проектов с участием Института Энергетических Проблем
А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь.....163

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend
National Renewable Energy Laboratory; Golden, Colorado.....165

Обзор проектов Национальной Лаборатории Возобновляемой Энергии
Ральф Оверенд
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии, Голден, штат Колорадо...169

Overview of Brookhaven National Laboratory Initiatives for Proliferation Prevention Projects
Paul Kalb
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York.....193

Обзор проектов Брукхейвенской Национальной Лаборатории по инициативам предупреждения распространения
Пол Калб
Брукхейвенская Национальная Лаборатория, Аптон, штат Нью-Йорк.....195

PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS RESOURCE ASSESSMENT
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

The Use of Crop Plants in Phytoremediation of Radionuclide Contaminated Soil and Water
Slavik Dushenkov
Phytotech, Inc.; Monmouth Junction, New, Jersey.....207

Применение возделываемых растений для восстановления при помощи растительности почвы и воды, загрязненных радионуклидами
Славик Душенков
компания Phytotech, Inc., Монмас–Джанкшен, штат Нью–Джерси.....209

Applications of Phytoremediation Technologies in Real Conditions of the Chornobyl Zone
Boris V. Sorochinsky
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev 225

Применение технологических приемов восстановления при помощи растительности в реальных условиях Чернобыльской Зоны
Борис В. Сорочинский
Украинская Государственная Академия Наук 227

Biodiversity, Reforestation and Environmental Issues
Helle Junker
Elsamprojekt, Fredericia, Denmark 235

Вопросы биологического разнообразия, лесовосстановления и окружающей среды
Хелли Джанкер
организация Elsamproject, Фредерисия, Дания 237

Power Production from Radioactive Contaminated Biomass and Forest Litter in Belarus Biodiversity Issues
Flemming Rune
The Danish Forest and Landscape Research Institute; Horsholm, Denmark 243

Вопросы биологического разнообразия при выработка электроэнергии из загрязненной радиоактивными веществами биомассы и лесной подстилки в Беларуси
Флемминг Рун
Датский Исследовательский Институт Лесного хозяйства и Ландшафта,
Хоршхольм, Дания.....247

Cesium and Strontium Uptake by Plants in a Semi-Arid Environment
Robert Fellows
Pacific Northwest National Laboratory; Richland, Washington 251

Поглощение растениями цезия и стронция в полузасушливой среде
Роберт Феллоус
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория,
Ричлэнд, штат Вашингтон.....253

Agrotechnological Aspects of Leaf and Stalk Biomass for Generation of Energy
Gennadiy A. Lobach
Technocentre, Ukraine.....263

Агротехнологические аспекты складирования биомассы, состоящей из листьев и стволов и, предназначенной для выработки энергии
Геннадий А. Лобач
Техноцентр, Украина.....265

Forestry and Technological Concepts of Collection, Transport, and Primary Processing of Forest Biomass in the Chornobyl Zone
V. Berchiy
Yuriy I. Murav'ev
State Company Chornobyl, Ukraine

Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Technical Center for International Research, Ukraine.....273

Лесоводственные Аспекты Обращения С Лесной Биомассой В Чернобыльской Зоне Отчужденния
В.И.Берчий
В.И.Муравьев
Государственная компания Чернобыльлес, Украина

Н.Д.Кучма
Чернобыльский Центр по международным исследованиям.....275

Fast Growing Short Rotation Woody Crop Systems for Phytoremediation of Radionuclides
Gerald Tuskan
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.....281

Системы быстрорастущих возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом для восстановления при помощи растительности при загрязненьях радионуклидами
Джеральд Тускан
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси.....283

ENERGY CONVERSION SYSTEMS
СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Overview of Energy Generation Technologies from Plant Biomass
Georgiy G. Geletuha
National Academy of Sciences of Ukraine.....291

Сводное изложение технологий выработки энергии из растительной биомассы
Георгий Г. Гелетуха
Украинская Государственная Академия Наук.....293

Superadiabatic Gasification Prospects for Processing Contaminated Wastes with Energy Generation
G.B. Manelis/E.V. Polianczyk/V.G. Shteinberg
Institute of Central Physics, Chernogolovka, Russia.....317

Возможности супрадиабатической газификации для перерабо тки загрязненных отходов с выработкой энергии
Г. Б. Манелис, Е. В. Пиляньцук, В. Г. Штейнберг
Институт Химической Физики, Черноголовка, Россия
Российская Академия Наук.....319

Feasibility Study of Different Contaminated Biomass Conversion Options
A Yakushau
Institute of Power Engineering Problems, Belarus.....329

Технико–экономическое обоснование различных вариантов преобразования загрязненной биомассы
А. Якушау
Институт Энергетических Проблем, Беларусь.....331

Design of Commercial Cogeneration Stations Suitable for Radionuclide-Contaminated Fuels
Helle Junker
Elsamprojekt, Fredericia, Denmark.....333

Разработка коммерческих станций по выработке тепловой и электрической энергии, подходящих для работы на загрязненных радионуклидами видах топлива
Хелли Джанкер
организация Elsamproject, Фредерисия, Дания.....335

Proposal Outline for Demonstration Pilot Project for the Collection, Combustion and Disposal of Contaminated Biomass in the Chornobyl Exclusion Zone
Gerald Elliott / Haywood Anderson
International Applied Engineering, Atlanta, Georgia.....351

Предлагаемый проект опытно–экспериментальной станции для сжигания загрязненной биомассы
Джеральд Эллиотт / Хейвуд Андерсон
компания International Applied Engineering, Атланта, штат Джорджия.....353

The Fuel Elements—Alternative Environmentally Friendly Sources of Energy
Vladislav Sagalovich
National Academy of Sciences of Ukraine.....357

Топливные элементы – альтернативные, не оказывающие неблагоприятного воздействия на окружающую среду источники энергии
Владислав Сагалович
Украинская Государственная Академия Наук.....359

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT, ENVIRONMENTAL AND WORKER HEALTH
ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Process Complex for Reprocessing and Repository of Radioactive Waste "Vector"
Sergei G. Pichurin
Technocentre, Ukraine 361

Комплекс технологической обработки «Вектор» для переработки и хранения радиоактивных отходов
Сергей Г. Пичурин
Техноцентр, Украина 363

Volume Reduction and Thermoplastic Encapsulation of Chornobyl Contaminated Ash from the Republic of Belarus[1]
Paul Kalb
Brookhaven National Laboratory, Brookhaven, New York

A.J. Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus 373

Снижение объема и термопластическое капсулирование Чернобыльской загрязненной золы из Республики Беларусь
Пол Калб
Брукхейвенская Национальная Лаборатория, Брукхейвен, штат Нью–Йорк

А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь 375

Fate of Cs and Sr in Commercial Biomass Combustion Systems
Larry Baxter
Sandia National Laboratory, Livermore, California 387

Удел цезия и стронция в коммерческих системах сжигания биомассы
Лэрри Бакстер
Национальная Лаборатория Сандия, Ливермор, штат Калифорния 391

Safety Engineering Implications for Biomass Conversion
Haywood Anderson
International Applied Engineering, Atlanta, Georgia 403

[1] This paper included in proceedings despite the fact that circumstances prevented the speaker from attending the workshop.

Учет требований техники безопасности при преобразовании загрязненной биомассы
Хейвуд Андерсон
компания International Applied Engineering, Атланта, штат Джорджия 405

Environmental Health and Safety Considerations Related to Biomass Energy Conversion
Clay Easterly
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 415

Соображения благополучия окружающей среды и безопасности при преобразовании биомассы в энергию
Клэй Эстерли
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси 417

Health Physics and Radioecology
Joen Roed
Risio National Laboratories, Roskilde, Denmark 427

Дозиметрическая служба и радиационная экология
Йорн Роэд
Национальные Лаборатории Рисио, Роксилле, Дания 429

Evaluation of Doses from Different Contaminated Biomass Conversion Options
A Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus 431

Оценка доз при различных вариантах преобразования загрязненной биомассы в энергию
А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь 433

Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone Environmental Management Issues
Thomas Early
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 445

Вопросы охраны окружающей среды в предлагаемом Украинско–Американском проекте для Чернобыльской Зоны отчуждения по восстановлению при помощи растительности и выработке электроэнергии
Томас Эрли
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси 447

The Prospects for Improving Effectiveness of the Projects in the Chornobyl Exclusion Zone by Microbial Factor
Valery Ribalka
Chornobyl Center for International Research, Ukraine 461

Перспектива повышения эффективности Проекта посредством фито-ремедиации в Чернобыльской Зоне отчуждения
Валерий Рыбалка
Чернобыльский Центр по международным исследованиям
Чернобыльская Центральная Лаборатория 463

ECONOMICS AND FINANCIAL APPROACH
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ ПОДХОДЫ

No Regrets Strategy for Commercialization of Non-Contaminated and Contaminated Biomass-to-Energy Projects in Ukraine and Belarus
Serge Adamian
Ecotrade, Inc., Glendale, California.....475

Не вызывающая сожалений стратегия для коммерциализации проектов преобразования незагрязненной и загрязненной биомассы в энергию на Украине и в Беларуси
Серж Адамян
компания Ecotrade, Inc., Гленделл, штат Калифорния.....477

To-Date Infrastructure for Biomass-to-Energy Conversion in Belarus
A Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus.....485

Современная инфраструктура для преобразования биомассы в энергию в Беларуси
А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь 487

Basic Principles in Providing Radiation Safety in the Exclusion Zone
V.N. Yanshin
State Enterprise of Regional Environmental Monitoring and Dosimetry Control (DP RADEK), Chornobyl 499

Основные Принципы Обеспечения Радиационной Чернобыльской Зоне отчуждения
Яншин В.Н.
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль.....501

Data and Soil Chemistry Models of Changes in the Bioavailability of Strontium and Cesium as a Function of Time after Disposition
Victor Dolin
Scientific-Production State Enterprise «Vidrodzhenya»,
National Academy of Sciences of Ukraine.....505

Модель данных и почвенно–химическая модель изменений биоаккумулирования стронция и цезия в зависимости от времени после захоронения
Виктор Долин
Государственное Научно–производственное предприятие «Видродженя»,
Украинская Государственная Академия Наук 507

Preliminary Technical and Economic Feasibility Study of the Joint Project
Vladimir Tokarevsky
Technocentre, Ukraine 509

Предварительная технико–экономическая оценка совместного проекта
Владимир Токаревский
Техноцентр, Украина 511

PRESENTERS
ДОКЛАДЧИКИ

Presenters 513

Докладчики 519

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Overview of the Radioecological Condition of the Chornobyl Exclusion Zone as a Project Site

A. Arkhipov[1], O. Bondarenko[2], V. Derevets[3], N. Kuchma[1], G. Lobach[4]

[1]Chornobyl Scientific Technical Center of International Studies, Chornobyl
[2]Institute of Radiation Safety, Kiev
[3]Government Enterprise RADEK, Chornobyl
[4]Government Enterprise Tekhnocenter, Chornobyl

The Chornobyl Exclusion Zone (CEZ) and the Mandatory Depopulation Zone is a humid, moderately warm zone and terms of forest type, is classified as a pine–broadleaf forested zone with soddy podzolic and sandy loam soil types. The overall surface area of the Chornobyl zone is more than 2,000 km^2, of which one third is represented by former agricultural lands and 50%, by forest land.

UDK RADEK—a large-scale system of observation, acquisition, and analysis of primary radiological information on surface layers of the atmosphere, soils, and surface waters, ground conditions and dosimetry—was established to monitor and control the radioecological situation. Together with the radiological and dosimetry service, the Chornobyl Scientific and Technical Center of International Studies has for many years conducted major comprehensive radiological studies in the Exclusion Zone.

The physical and chemical features of the releases of radioactive material, the duration of these releases, and climatic factors have caused the formation of the complex character of contamination of the Zone: micro- and macro-mosaic quality, stratification, patchwork character, and the varying ratio of fuel and condensation forms of radioactive fall-out.

The radioecological situation in the Chornobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone at the present time is defined by long-life radionuclides ^{137}Cs, ^{90}Sr and transuranic element. No less than 90% of radioactivity remains in the upper 0-5 cm layer of the soil. According to soil profile, ^{90}Sr is distributed more rapidly throughout the territory under study than is Cs^{137}. The content of mobile forms of ^{90}Sr in the soils constitutes 50-90% of the total stock. There is a notable tendency toward an increase in the percentage of mobile forms with depth. The content of mobile forms of ^{90}Sr in underground waters and in vegetation for the 12 years grew nonlinearly from 10-14% in 1986-1987 to 60-90% in 1997.

Radioactive contamination of the fauna (grasses, timber, pine needles, and leaves) is defined by the direct contamination of the territory and by conversion factors. Conversion factors in turn depend on the physical and chemical properties of radioactive fall-out, the chemical properties of the radionuclide itself, the soil and agrochemical and landscape conditions of the growth and on the biological features of the vegetation. For grasses, the conversion factors vary in the range of 0.9-50 for ^{137}Cs and 10-100 for ^{90}Cs. The lower range of values is observed in timber.

A certain share of stocks of radionuclides in the territory of the Exclusion Zone is involved in the biological cycles, being stored in the vegetative biomass. Removing this biomass from the

medium, one can thereby break the radioactivity-soil chain and, as a result, facilitate the lowering of the effective period of the partially cleared medium. The ensuing problem of the reclamation of the radioactively contaminated vegetative biomass may be resolved within the project under discussion.

An analysis of data on the stocks of biomass as a potential source of energy reserves shows that the actual stocks of biomass of timber on the average are higher by an order of one than other biological components. The stock of the biomass of grasses is roughly equal to the stock of pine needles (timber 73.4 tons per hectare, needles 6.6 tons per hectare, and grass 4.0 tons per hectare). It should be borne in mind that an estimate of stocks of biomass and radioactivity of roots systems is not performed, although their contribution to the total stock is significant (54.3 tons per hectare). In practical terms, this biomass stock can not be used in the actual conditions of the zone, since the effort expended in assimilation will substantially exceed the possible gain. In addition, the disposition of root systems in highly contaminated surface layers of the soil lead both to an increased share of irradiation of personnel during production and to additional contamination of equipment.

The total stock of radioactivity ($^{90}Sr + ^{137}Cs$) in grasses and timber in the Exclusion Zone constitutes 3.3 and 166.8 TBq, respectively. Lower stocks of biomass, and consequently, of radionuclides in grassy unwooded territories, do not reduce the role of grasses in the production of energy and in phytodecontamination with the application of specialized technologies.

Thus:

The reclamation in the fuel–energy cycle of radioactively contaminated vegetative biomass, produced within the Exclusion Zone breaks the biological cycle of radionuclides and, thereby, facilitates a lowering of the effective period of the partially cleared medium.

Calculations indicate that the forest scenario for the use of territory in the Exclusion Zone is more promising both in light of the absence of production of grasses and since the time for obtaining final product amounts to 50 - 80 years (which saves on personnel dose loads).

The amount of the yearly growth of timber and grass biomass is sufficient for obtaining energy adequate to provide the energy demands of the complex of enterprises of the Exclusion Zone considering the prospects for the start-up of new enterprises, in particular, the RAO Vector radwaste reprocessing and final disposition enterprise.

Thus, the comprehensive estimate of stocks of the Exclusion Zone provide a basis to consider the feasibility of the project, while the intensification of administrative activities within the framework of the project will ensure the economic and social rehabilitation of the Exclusion Zone, which will precede and facilitate the acceleration of radioecological rehabilitation.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Обзор радиоэкологического состояния Чернобыльской Зоны отчуждения как места выполнения проекта

А. Архипов[1], О. Бондаренко[2], В. Деревец[3], Н. Кучма[1], Г. Лобач[4]

1) Чернобыльский Научно–технический центр международных исследований, г. Чернобыль (ЧеЧЦМИ)
2) Институт радиационной защиты, г. Киев
3) ГП "РАДЕК", г. Чернобыль
4) ГСП "ТЕХНОЦЕНТР", г. Чернобыль

Чернобыльская зона отчуждения и зона безусловного (обязательного) отселения относится к влажной, умеренно теплой зоне, и в соответствии с лесо–типологическим районированием – к зоне сосново–широколиственных лесов с дерново–подзолистыми и легкими супесчанными почвами. Общая площадь территории Чернобыльской зоны составляет более 2000 км^2, из которых треть представлена бывшими агроландшафтами, 50% - лесными массивами.

Для контроля и управления радиоэкологической ситуацией была создана широкомасштабная система наблюдения, сбора и анализа первичной радиологической информации (УДК – "РАДЭК") о приземных слоях атмосферы, грунтовых и поверхностных водах, почво–грунтах, дозиметрии. Наряду с службой радиологического и дозиметрического контроля на территории Зоны отчуждения многолетние широкомасштабные комплексные радиоэкологические исследования осуществляет ЧеНЦМИ.

Физические и химические особенности выброшенного радиоактивного материала, продолжительность выбросов, климатические факторы обусловили формирование сложного характера загрязнения Зоны: микро– и макро – мозаичность, струйность, пятнистость, различное соотношение топливной и конденсационной форм радиоактивных выпадений.

Радиоэкологическая обстановка в зоне отчуждения ЧАЭС в настоящее время определяется долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs, ^{90}Sr, ТУЭ. Не менее 90% активности продолжает находиться в верхнем 0 – 5 см слое почвы. Sr^{90} по профилю почвы по всем обследованным территориям распространяется более быстрыми темпами по сравнению с Cs^{137}. Содержание мобильных форм Sr^{90} в почвах составляет 50 – 90 % суммарного запаса. Отмечается тенденция роста доли подвижных форм с глубиной. Содержание подвижных форм Sr^{90} в подземных водах и растительности за 12 лет нелинейно возрастал с 10 – 14 % в 1986–87 гг. До 60 – 90 % в 1997 году.

Радиоактивное загрязнение растительной продукции (травостой, древесина, хвоя и листья) определяется непосредственно загрязнением территории и коэффициентами перехода (КП). КП в свою очередь зависят от физико–химических свойств радиоактивных выпадений, химических свойств собственно радионуклида, почвенно–агрохимических и

ландшафтных условий места произрастания и биологических особенностей растений. Кп для травянистой растительности колеблются в пределах 0,9 – 50 по ^{137}Cs и 10 – 100 по ^{90}Sr. Меньший размах значений наблюдается для древесины.

Определенная часть запасов радионуклидов на территории Зоны отчуждения вовлечена в биологические циклы; аккумулируясь в составе растительной биомассы. Удаляя эту биомассу из среды, можно тем самым разорвать звено обратного поступления радиоактивности в почву и, как следствие, способствовать сокращению эффективного периода полуочищения среды. Возникающая при этом проблема утилизации радиоактивно загрязненной растительной биомассы может быть решена в рамках обсуждавшегося Проекта.

Анализ данных по запасам биомассы как потенциального источника энергетических ресурсов показывает, что реальные запасы биомассы древесины в среднем на порядок выше, чем других биологических компонентов. Запас биомассы травостоя приблизительно равен запасам хвои лесных насаждений (древесина 73.4 т/га, хвоя 6.6 т/га, травостой 4.0 т/га). Следует обратить внимание на то, что не проводится оценка запасов биомассы и активности корневых систем, хотя их вклад запас значителен (54.3 т/га). Практически этот биоресурс не может быть использован в реальных условиях зоны, поскольку трудозатраты на его освоение будут существенно превышать возможную прибыль. Кроме того размещение корневых систем в высоко загрязненном поверхностном слое почвы приведет как к увеличению дозы облучения персонала при производстве, так и дополнительному загрязнению оборудования. За границами радиоактивно загрязненных территорий в реальных условиях современного производства корни деревьев практически не используются.

Суммарный запас активности ($^{90}Sr + ^{137}Cs$) в травостое и древесной растительности зоны отчуждения составляет 3,3 и 166,8 ТБк, соответственно. Низкие запасы биомассы, и соответственно радионуклидов в травостое незалесенных территорий, не снижают роль травостоя при производстве энергии и при фитодезактивации в случае применения специализированных технологий.

Таким образом:
Утилизация в топливном–энергетическом цикле радиоактивно загрязненной растительной биомассы, продуцируемой территорией Зоны отчуждения, обеспечивает разрыв биологического цикла радионуклидов и, тем самым, способствует сокращению эффективного периода полуочищения среды.

Расчеты показывают, что лесной сценарий использования территории зоны отчуждения более перспективный как в виду отсутствия производства товарной продукции, так и в виду перенесения сроков получения конечной продукции на 50 – 80 лет (что экономит дозовые нагрузки на персонал).

Количество ежегодного прироста древесной и травянистой биомассы достаточно для получения энергии, достаточной для обеспечения энергетических потребностей комплекса предприятий Зоны отчуждения с учетом перспективы ввода в эксплуатацию новых

предприятий, в частности, по переработке и захоронению РАО ("Вектор").

Таким образом, комплексная оценка ресурсов Зоны отчуждения дает основание считать возможным реализацию Проекта, а интенсификация хозяйственной деятельности в рамках Проекта обеспечит экономическую и социальную реабилитацию Зоны отчуждения, которая будет предшествовать и способствовать ускорению ее радиоэкологической реабилитации.

Phytoremediation

Gerald A. Tuskan
Oak Ridge National Laboratory

Ten presentations addressing topics related to phytoremediation were presented on February 23, 1998, at the Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop. Experiences with various plant systems used in various contaminated environments were elaborated upon during each presentation. In summary, phytoremediation encompasses phytoextraction, phytostabilization, rhizofiltration, and the use of biobarriers. The decision to employ phytoremediation techniques for the cleanup of radiocontaminated soils must be evaluated in terms of expected ecological outcomes as well as expected economic costs and benefits. Phytoremediation systems are currently commercially available. Such systems have been successfully deployed to clean up lead- and uranium-contaminated sites. Similarly, preliminary tests of phytoremediation systems have been established in highly contaminated areas within the Chornobyl Exclusion Zone (CEZ). From a phytoextraction perspective, uptake of cesium has been limited; preliminary results are more encouraging for strontium. Nevertheless, several alternative approaches involving improved clonal planting stock and optimized silvicultural manipulations were recommended as a means of enhancing the phytoextraction transfer factor. It was recognized that the CEZ offers multiple opportunities to deploy phytoremediation systems successfully. Some of these opportunities will involve intensive efforts (e.g., phytoextraction and rhizofiltration), others will involve more passive efforts (e.g., phytostabilization and biobarriers), and still others will merit no action. There was general agreement that efforts in the CEZ must be inclusive and integrated, involving Ukrainian scientists, U.S. scientists in both the public and private sector, and others. The first step will be to define objectives for each contaminant and for each area within the zone. The next step will implement and evaluate the various recommended options. This step will require several years (3 to 5 years) to complete. Some time in the future, the "best" options will be deployed (5+ years). Under this outline, phytoremediation-generated feedstocks will not supply 100% of the fuel requirements of a 50-MW generating station in the first 5 years, though ultimately such feedstock could easily, singly support a 50-MW generating station. In closing, it was felt that phytoremediation, in the broadest context, is a low risk technology that can be deployed today under high probability of success.

Восстановление при помощи растительности

Краткое изложение и выводы

Джеральд А. Тускан
Окриджская Национальная Лаборатория

23 февраля 1998 года на Чернобыльском семинаре по восстановлению при помощи растительности и преобразованию биомассы в энергию было сделано десять докладов, которые обращались к темам, относящимся к восстановлению при помощи растительности. Во время каждого из докладов обсуждался опыт с разными растительными системами, применявшимися в условиях различного загрязнения. Излагая суммарно, восстановление при помощи растительности заключается в фитоэкстракции, фитостабилизации, ризофильтрации и применении биологических барьеров. Решение об использовании технических приемов восстановления при помощи растительности для очистки почв с радиоактивным загрязнением должно приниматься, основываясь на ожидаемых экологических результатах, а также принимая во внимание ожидаемые затраты и выгоды экономического характера. В настоящее время имеются в наличии коммерчески доступные системы для восстановления при помощи растительности. Системы такого рода успешно применялись для очистки мест со свинцовым и урановым загрязнением. Подобным же образом были проведены предварительные испытания систем по восстановлению при помощи растительности в местах с высоким уровнем загрязнения в пределах Чернобыльской Зоны отчуждения. С точки зрения фитоэкстракции поглощение цезия было ограниченным; предварительные результаты по стронцию являются более обнадеживающими. Несмотря на это, в качестве способов улучшения степени фитоэкстракции были рекомендованы несколько альтернативных подходов с использованием улучшенных клонированных видов растительности и оптимизированных методов ведения лесного хозяйства. Было признано, что Чернобыльская Зона отчуждения предоставляет множество возможностей успешного применения систем восстановления при помощи растительности. Некоторые из этих возможностей потребуют интенсивных усилий (например, фитоэкстракция и ризофильтрация), другие будут включать работы более пассивного характера (например, фитостабилизация и биологические барьеры), а будут еще и те, которые не потребуют никаких действий. Было достигнуто общее соглашение о том, что работы в Чернобыльской Зоне отчуждения должны вестись на совместной основе с привлечением Украинских ученых, американских ученых как из государственного, так и из частного сектора, и других. Первым шагом станет определение задач по каждому из загрязняющих веществ и для каждого участка в пределах зоны. На следующем шаге будет проведена реализация и оценка различных рекомендованных вариантов. Этот шаг потребует нескольких лет (от 3 до 5 лет) для своего завершения. В какое-то время в будущем будут применены «наилучшие» варианты (5+ лет). Согласно таком ходу событий создаваемого восстановлением при помощи растительности топлива на протяжении первых 5 лет будет недостаточно для обеспечения 100% потребностей в нем для вырабатывающей 50 МВт станции, однако постепенно получаемое таким образом топливо сможет с легкостью, само по себе обеспечить вырабатывающую 50 МВт станцию. В заключении, создалось ощущение, что восстановление при помощи растительности, в широком контексте, представляет собой обладающую низким риском технологию, которая может быть применена сегодня с высокой вероятностью успеха.

Biofuel

Alexander Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

According to the project strategy, the biomass-to-energy technologies are supposed to be the largest consumer of woody matter and phytomass arising during Exclusion Zone remediation. Regardless of technologies proposed for biomass-to-energy conversion, the biofuel characterization and biofuel supply parameters must be precisely evaluated. Therefore, the project should include, as one of the most principal stages, the feasibility study addressing the following issues:

- Evaluation of the identified biomass fuel resources along with the area of their production,
- Assessment of reliability and sustainability of biomass resources for a long term,
- Evaluation of necessary infrastructure,
- Biomass characterization as a fuel component,
- Cost evaluation.

Evaluation of Biofuel Resources and the Relevant Area of Culture

Woody Biomass

The forest in the Exclusion Zone plays an extremely important role as a natural barrier against contamination extension along with soil-erosion protection. Therefore, the practice of forestry should address mainly this issue. Forest health depends very much on an appropriate strategy of felling, reforestation, and conditions of biodiversity. Different types of felling must be applied, aiming at maintenance of optimal wood stand density, fire prevention, appropriate sanitary conditions, etc. Age class should be defined as for final harvest with a goal to provide optimal biomass volume per hectare. Radioactive litter and duff also could be a source of fuel, but in the case of the Exclusion Zone (soil type is mostly sandy; the average thickness of the soil organic layer is 7 cm), their removal must be exceptional; otherwise, it will provoke soil erosion and washing off with intensive radioactivity migration. All woody matter arising from different types of felling, including debris, are to be directed to biomass conversion processes.

To evaluate the biomass available for conversion, the following questions should be answered:

- Area in total and per tree species,
- Tree species distribution,
- Area per age class and tree species,
- Planted area and area of natural forest,

- Number of trees planted per hectare, distance in row and between rows,
- Dimensions of the trees, DBH (diameter at breast height), height, average volume per tree,
- Number of stems per hectare as dependent on age classes and tree species,
- Volume per hectare of stemwood and additional biomass,
- Thickness of humus layer, depending on age class, tree species, and soil type,
- Annual amount of wood harvested divided into tree species and assortments,
- Reforestation plan, total area of forest nurseries, and their annual productivity,
- Radiological parameters for biomass and soil.

Phytomass

There is a big area of grassland, willows, former pastures, and arable land in the Exclusion Zone that has no economic value today. Due to the level of contamination, this area cannot be used for normal agricultural practice formerly applied for food production. These lands are to be gradually involved in growing new cultures, allowing restoration of the fertility of the soil and making them profitable. The most attractive option could be phytoremediation and fast restoration coppice technologies that can provide additional biofuel along with certain removal of source terms from contaminated soil.

To evaluate the phytomass volume generated from this proposed option, the following questions should be answered:

- What is the area planned to be involved in the application of phytoremediation and fast rotation coppice technologies?
- What crop species and coppice varieties are suitable for identified soil type and condition of growth?
- What is the vegetative period?
- What is the yield of phytomass for each culture?
- What are the radiological parameters of phytomass and soil?

Reliability and Sustainability of Resources

The reliable and sustainable biofuel supplies are the most important issues for biomass-to-energy conversion of commercial scale. The principal parameters like time and volume of harvest must be specified to compile the precise schedule of delivery. The mid-growing season data and long-term prognosis of biomass growth must be evaluated on a basis of correlation between yield and climatic parameters (temperature, precipitation, sun hours/irradiance, number of days with frozen soil, etc.). Reliability of biofuel resources is defined also by reliability and productivity of the relevant techniques to operate plantation and harvest.

Evaluation of Necessary Infrastructure

The feasibility of biomass conversion depends to a great extent on infrastructure that is to provide sustainable delivery of biofuel of appropriate quality and volume to provide sufficient fuel for the biomass-fired facility. For instance, a power generation facility of 50 Mwe requires a wood-chips transport tuck with a loading capacity of 80 m^3 to arrive at the power plant every 2 minutes. Therefore, the following components must be evaluated and installed:

- A transport means of high loading capacity of appropriate number both for terrain and road transportation (does not exist).
- Well-developed road network with appropriate bearing capacity. Terrain description (slopes and obstacles) has to be provided.
- Fuel-preparation techniques that include chippers of different sizes, pre-dryers, transport conveyors, etc.
- Fuel storage of appropriate size (normally occupies an area of 5 miles, as much as the area for the boiler).
- The appropriate physical protection components.

Biomass Characterization as a Fuel Component

Biofuel has to be characterized to fit the optimal combustion process, to evaluate the chemistry of deposits of mineral components on boiler walls and heat exchanger, and to define appropriate radionuclide release control and ash removal/handling systems. The fuel characterization normally includes the following analyses:

- Moisture content,
- Ultimate analysis,
- Proximate analysis,
- Ash chemistry,
- Chemical fractionation,
- Forms of sulfur,
- Heating value and fusion temperature analyses,
- Radionuclides content and their forms.

Cost Evaluation

Economic data on hardware related to biofuel supply along with the relevant manpower has to be provided for economical evaluation of the proposed project.

Биотопливо

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Александр Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

Согласно стратегии проекта предполагается, что технологии преобразования биомассы в энергию будут потреблять наиболее крупные объемы древесного материала и фитомассы, образующихся по ходу восстановления при помощи растительности запретной зоны. Независимо от технологий, предлагаемых для преобразования биомассы в энергию, должна быть проведена точная оценка свойств и параметров получаемого биотоплива. Поэтому проект должен включать в качестве одного из главнейших этапов технико-экономическое обоснование, обращающееся к анализу следующих вопросов:

- Оценке запасов выявленных запасов представляющей собой топливо биомассы в пределах области ее производства
- Оценке надежности запасов биомассы и ее способности к самовозобновлению на протяжении длительного времени
- Оценке необходимой инфраструктуры
- Определении свойств биомассы в качестве топливного компонента
- Оценке стоимости.

Оценка запасов биотоплива и соответствующей области возделывания

Древесная биомасса

Лес в запретной зоне наряду с защитой против эрозии почвы играет чрезвычайно важную роль природного барьера, сдерживающего распространение загрязнения. Поэтому ведение лесного хозяйства должно главным образом заниматься этим вопросом. Благополучие лесов очень во многом зависит от соответствующей стратегии вырубки, лесовоспроизводства и состояния биологического разнообразия. Должны применяться разные типы вырубки, направленные на поддержание оптимальной густоты деревьев, предотвращение пожаров, соответствующего санитарного состояния и пр. Для рубки главного пользования должен определяться возрастной класс с целью обеспечения оптимального объема биомассы на гектар. Радиоактивная лесная подстилка и лесной перегной также могли бы быть источником топлива, однако в случае запретной зоны (тип почвы в основном песчаный; средняя толщина органического слоя почвы составляет 7 см) их удаление должно быть исключено; в противном случае это вызовет эрозию почвы и вымывание с интенсивной миграцией радиоактивности. Весь древесный материал, создаваемый в результате различных типов вырубки, включая щепу, должен направляться в процесс преобразования биомассы.

С тем, чтобы оценить объем биомассы, имеющейся в наличии для преобразования,

следует ответить на следующие вопросы:

- Какова площадь территории в целом и произрастающие на ней виды деревьев
- Каково распределение на ней видов деревьев
- Каково распределение территории по возрастному классу деревьев и их видам
- Какова площадь высаженного леса и естественных лесов
- Каково число деревьев, высаженных на гектар, расстояние между деревьями в рядах и расстояние между рядами
- Каковы размеры деревьев, диаметр на уровне груди, высота, средний объем в дереве
- Каково число стволов на гектар в зависимости от возрастного класса и по видам деревьев
- Каков объем стволовой древесины и дополнительной биомассы на гектар
- Какова толщина перегноя в зависимости от возрастного класса, по видам и ассортименту деревьев
- Каков ежегодный объем вырубаемой древесины, разделенный по видам и ассортиментам деревьев
- Каков план лесовоспроизводства, общая площадь рассадников деревьев и их ежегодная продуктивность
- Каковы радиологические параметры биомассы и почвы.

Фитомасса

В запретной зоне существуют большие площади лугов, ивовых зарослей, бывших пастбищ и пахотных земель, которые на сегодня не представляют никакой экономической ценности. Из–за уровня загрязнения эти площади не могут использоваться для нормальной сельскохозяйственной деятельности, применявшейся прежде для производства пищи. Эти земли должны постепенно привлекаться к выращиванию новых культур, дающих возможность восстановить плодородность почвы и делающих их прибыльными. Наиболее привлекательным вариантом могло бы стать восстановление при помощи растительности и технологии быстрого порослевого возобновления, которые вместе с безусловным удалением загрязняющих почву веществ могут предоставить дополнительное биотопливо.

Для того, чтобы произвести оценку объема биомассы, создаваемого при таком предлагаемом варианте, следует ответить на следующие вопросы:

- Какова территория, которую планируется привлечь для применения восстановление

при помощи растительности и технологий порослевого возобновления с быстрым севооборотом?

- Какие возделываемые виды и разнообразия поросли являются подходящими для определенного типа почвы и условий роста?
- Каков период вегетации?
- Каков урожай биомассы для каждой культуры?
- Каковы радиологические параметры фитомассы и почвы?

Надежность и самовозобновляемость запасов

Надежность и самовозобновляемость запасов биотоплива являются наиболее важными вопросами для преобразования биомассы в топливо коммерческого масштаба. Для составления точного графика доставки биотоплива должны быть конкретно определены такие принципиально важные параметры, как время и объем сбора урожая биомассы. Обязательно должна проводиться оценка данных середины сезона роста и долгосрочные прогнозы на основе взаимосвязи между урожаем и климатическими параметрами (температурой, осадками, солнечными часами и излучением, числом дней с заморозками на почве и т.д.). Надежность запасов биотоплива определяется также надежностью и продуктивностью соответствующих приемов эксплуатации плантации и сбора урожая.

Оценка необходимой инфраструктуры

Осуществимость преобразования биомассы в многом зависит от инфраструктуры, предназначенной для обеспечения непрерывной доставки биотоплива соответствующего качества и в соответствующем объеме для обеспечения достаточного количества топлива для работающего на сжигании биомасс объекта. К примеру, электростанция мощностью 50 МВт требует, чтобы на станцию каждые 2 минуты прибывал транспортер с грузом древесной щепы объемом 80 $м^3$. Поэтому должна быть произведена оценка и установка следующих компонентов:

- Соответствующего числа транспортных средств большой грузоподъемности для транспортировки по бездорожью и по дорогам (не существует).
- Хорошо развитой сети дорог, предназначенных для транспортных средств соответствующей грузоподъемности. Должно быть предоставлено описание ландшафта (уклонов и препятствий).
- Технических средств подготовки топлива, которые включают дробилки различных размеров для щепы, устройства предварительной просушки, транспортные конвейеры и пр.
- Хранилища топлива подходящего размера (обычно занимает площадь в 5 миль, не менее площади котлоагрегата).

- Соответствующих компонентов физической защиты.

Свойства биомассы как топливного компонента

Свойства биотоплива должны быть определены для оптимального процесса сжигания, для оценки химического состава отложений минеральных составляющих на стенках котлоагрегата и теплообменника и для определения соответствующего контроля за выделениями радионуклидов и систем удаления и обращения с золой. Определение свойств топлива обычно включает в себя проведение следующих анализов:

- На содержание влаги
- Полного анализа
- Технического анализа
- Химического состава золы
- Химического фракционирования
- На соединения серы
- Анализов теплотворной способности и температуры плавления
- На содержание радионуклидов и их формы

Оценка стоимости

Для экономической оценки предлагаемого проекта должны быть представлены экономические данные по оборудованию, относящемуся к поставке биотоплива, вместе с соответствующими трудозатратами.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Biomass Energy Conversion

Ralph Overend
National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

The meeting reviewed the many pathways by means of which the extensive biomass in the Exclusion Zone could be converted into useful products such as liquid fuels, gas, electricity, and heat. The two main pathways can be divided into biochemical strategies or thermochemical routes.

The two biochemical strategies are (1) to a biogas—a mixture of methane and carbon dioxide having potential use as a gas turbine fuel or feedstock for fuel cells or (2) to ethanol, with the potential use as a transportation fuel. The biochemical pathways have the disadvantage that they will transfer the radionuclides from the solid state to a solution in water that will have to be treated before release from the process. And since the ratio of water to solid in the process itself is about 20:1, this would create considerable problems and investment requirements for cleanup.

The thermochemical routes considered included (1) pyrolysis to a biocrude, (2) gasification to a syngas, and (3) direct combustion to provide steam for heat and power. All have the advantage that the majority of the radionuclides would be concentrated and retained in the ash from the process. Both biocrude and syngas can be used to fuel gas turbines and engines, while syngas can be passed over catalysts to produce liquid fuels, such as methanol, or ammonia fertilizer. It could also be converted to hydrogen for use in fuel cells.

Some of these technologies are still in development while others are commercial. Briefly, it can be summarized that pyrolysis to biocrude is just becoming commercialized while the applications in turbines and engines are not yet proven. For gasification, which is the basis of the integrated combined cycle that promises highly efficient generation, the technology is still in the demonstration phase in both Europe and the United States. Within 2 to 3 years, it is expected that the first generation integrated gasification and combined cycle (IGCC) processes will be offered commercially, which is not the case at this time.

The only systems that are both proven and commercially available for conversion of biomass to electricity and heat are combustion systems (with both stoker-fired grate boiler systems) and fluidized bed systems (available from several manufacturers worldwide). If the biomass were not contaminated, it would be possible to go out for bids tomorrow for the competitive installation of power plants up to 75 MW electricity output and greater than 200 MW thermal output at costs of 1600 to 1800 $/kW at these large scales. The meeting addressed the issues of burning biomass contaminated with Cs and Sr. Best practice in both the United States and Europe has resulted in many biomass-fired units that meet air, water, and solids emissions standards of the environmental agencies. In particular, the units with bag-houses or electrostatic precipitators can meet the requirements of very low particulate emissions, even of the sub 2.5-micron particles that are of concern due to their ability to be inhaled and deposited in lungs. Tests by Sandia National Laboratories of biomass doped with non-radioactive Cs and Sr have demonstrated that the behavior of these substances is that which is anticipated from the accumulated knowledge of the behavior of alkali materials in biomass boilers. One test

conducted in a commercial unit with an electrostatic precipitator demonstrated very high capture of Cs and Sr. Discussion in the meeting demonstrated that the radiation doses from the ash would be manageable in existing combustion systems so long as adequate precautions were applied in operational handling and maintenance procedures, especially for biomass from the less contaminated portions of the zone.

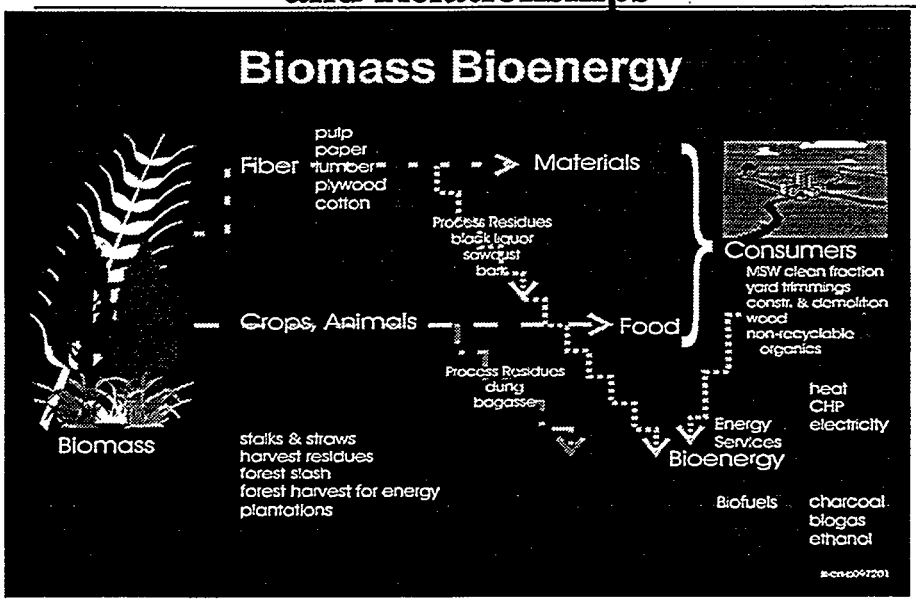
Appropriate conversion technologies need to be developed. Their efficacy for the most contaminated biomass as well as that biomass containing technogenic wastes generated in the immediate aftermath of the #4 unit fire need to be demonstrated. These materials do not all have such a high fuel value as biomass due to the concrete and metal associated with them as well as the complication that they may have transuranic elements in addition to Cs and Sr.

Biomass and Bioenergy Chernobyl Remediation Options

Ralph P. Overend

NREL

Biomass and Bioenergy Material Flows and Relationships



Biological Systems

- Lignocellulosics need pretreatment
  - acid, solvent, steam
- Fermentation mostly in dilute solution
  - typical ratio solid:liquid 5:95
  - exception solid state MSW digestion
- Liquid effluent
  - requires treatment for BOD/COD
  - mineral matter solubilized
  - recovery difficult - used for irrigation

NREL

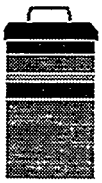
Composition of Lignocellulosic Biomass

Cellulose 38%
Hemicellulose 32%
Lignin 17%
Other 13%

Agricultural Residues

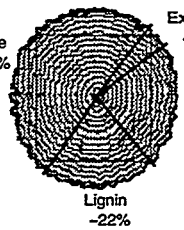
Cellulose 45%
Hemicellulose 30%
Lignin 15%
Other 10%

Herbaceous Energy Crops



Other ~22%
Metal ~10%
Food and yard waste ~13%
Wood ~2%
Plastics and textiles ~7%
Paper ~46%

Municipal Solid Waste



Cellulose ~50%
Extractives ~5%
Hemicellulose ~23%
Lignin ~22%

Underutilized and Short Rotation Hardwoods

Преобразование биомассы в энергию

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Ральф Оверенд
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии, Голден, штат Колорадо

На встрече были рассмотрены многие пути, при помощи которых обширный объем биомассы в запретной зоне мог бы преобразовываться в такие полезные продукты, как жидкие виды топлива, газ, электричество и тепловую энергию. Два основных пути можно разделить на биохимические стратегии или термохимические направления.

Две биохимические стратегии заключаются в выработке (1) биогаза – смеси метана и двуокиси углерода, обладающего потенциалом использования в качестве топлива для газовых турбин или источника энергии для топливных элементов или (2) этанола, который возможно использовать в качестве топлива для транспортных средств. Биохимические пути имеют недостаток в том, что они переносят радионуклиды из твердого состояния в водяной раствор, который должен подвергаться обработке до конечного выхода из процесса. И поскольку соотношение воды к твердым веществам в самом процессе составляет примерно 20:1, это создаст значительные проблемы и потребности в инвестициях для проведения очистки.

Термохимические направления рассматриваются как включающие (1) пиролиз в биодистиллят, (2) газификацию с получением синтетического газа и (3) прямое сжигание для получения пара для выработки тепловой и электрической энергии. Все они выгодны в том отношении, что большинство радионуклидов будут концентрироваться и удерживаться в золе, получаемой в ходе процесса. И биодистиллят и синтетический газ могут применяться в качестве топлива для газовых турбин и для двигателей, в то время как синтетический газ может пропускаться через катализатор для выработки жидких видов топлива, таких как метанол, или аммониевых удобрений. Он может также преобразовываться в водород для использования в топливных элементах.

Некоторые из этих технологий все еще находятся в процессе разработке, в то время как другие уже используются коммерчески. Говоря вкратце, можно подвести итог, что пиролиз в биодистиллят только еще становится доступным для коммерческого использования, в то время как применение для турбин и двигателей пока еще себя не зарекомендовало. В отношении газификации, лежащей в основе интегрированного комбинированного цикла, обещающего очень высокую эффективность выработки, технология до сиз пор находится в опытно–экспериментальной стадии как в Европе, так и в Соединенных Штатах Америки. Ожидается, что в течение 2 - 3 лет первые процессы интегрированной газификации и комбинированного цикла будут предложены для коммерческого применения, однако на настоящий момент этого пока еще не произошло.

Единственными системами, хорошо зарекомендовавшими себя и доступными для коммерческого применения с целью преобразования биомассы в электрическую и тепловую энергию, являются системы сжигания (с обоими системами колосниковых котлоагрегатов с механическим забрасывателем) и системы на псевдоожиженном слое (их

можно получить от нескольких изготовителей по всему миру). Если бы биомасса не была загрязненной, то было бы возможно разместить запрос о принятии тендеров завтра же на подряд строительства теплоэлектростанции, вырабатывающей до 75 МВт электричества и свыше 200 МВт тепловой энергии при стоимости от 1600 до 1800 $/кВт при таком крупном масштабе. На встрече рассматривались вопросы сжигания биомассы, загрязненной цезием и стронцием. Лучшая практика как в Соединенных Штатах Америки, так и в Европе привела в результате к созданию многих работающих на биомассе энергоблоков, удовлетворяющих стандартам, выпущенным различными ведомствами, отвечающими за состояние окружающей среды в отношении качества воздуха, воды и выделений твердых продуктов. В особенности это касается энергоблоков с тканевыми рукавными пылеуловителями или с ловушками с электростатическим осаждением, которые могут удовлетворять требованиям очень низкого выброса частиц, даже при частицах размером около 2,5 микронов, которые вызывают особую озабоченность из–за их способности попадать с дыханием внутрь организма и откладываться в легких. Проведенные Цандийской Национальной Лабораторией испытания с биомассой, в которую были добавлены нерадиоактивные цезий и стронций, продемонстрировали, что поведение этих элементов является таким, как и ожидалось, исходя из накопленных знаний о поведении щелочных материалов в работающих на биомассе котлоагрегатах. Одно испытание, проведенное на коммерческом энергоблоке с ловушкой с электростатическим осаждением, показало очень высокой улавливание цезия и стронция. Обсуждение во время встречи показало, что дозы радиации от золы в существующих системах сжигания могут контролироваться при применении адекватных предосторожностей во время эксплуатационных процедур преобразования и планово–предупредительных работ, в особенности в отношении биомассы с менее загрязненных участков зоны.

Необходима разработка соответствующих технологий преобразования. Необходимо, чтобы была продемонстрирована их эффективность для большинства загрязненной биомассы, а также для биомассы, содержащей техногенные отходы, возникшие непосредственно после пожара на четвертом энергоблоке. Не все из этих материалов обладают такой же топливной ценностью как биомасса в силу включений в них бетона и металла, а также из–за того осложнения, которое существует из–за того, что помимо цезия и стронция они могут содержать трансурановые элементы.

Waste Management

Tom Early
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee

Just as the systems approach must be applied to the entire Chornobyl remediation and power production project, in the opinion of the workshop participants, such an approach also should be used to evaluate alternative waste management options. Several considerations were recognized:

- Several different options being considered for biomass production will yield different types of biomass products (herbaceous vs. woody plants).

- Several different options under consideration for biomass conversion will produce wastes with different characteristics. Even for a conventional combustion system, different types of biomass produce different amounts and quality of ash (e.g., herbaceous biomass produces more ash with different chemical characteristics than ash from wood).

- The mix of biomass types used as feed stock will likely produce changes to the energy conversion system from season to season and year to year, based on availability.

Therefore, there is the general belief that first we must evaluate the spectrum of biomass production and conversion alternatives to properly identify the range of waste types that will result before disposal options can be addressed.

Secondly, we need to evaluate the risks, benefits, and cost of different waste treatment, storage, and disposal options. We must recognize that the contaminants in ash (^{137}Cs and ^{90}Sr) will be soluble so that isolation of the ash from water and/or the use of some form of waste stabilization must occur to prevent leaching. Within this context, we discussed several alternatives for the wasteform and waste preparation:

- Incorporation of contaminated ash in concrete (which might find use for construction of waste disposal casks). However, it was pointed out that current international standards may not recognize biomass ash as an appropriate additive to concrete, and, in the case of ash from herbaceous material, the ash chemistry may compromise the integrity of the concrete produced.

- Thermoplastic encapsulation. This could be a waste form with long-term stability, but it must be shown to be cost competitive with other options.

- Plastic bags might be appropriate for some wastes where the risk of exposure is low.

It was felt by workshop participants that much information on biomass ash properties and wasteform performance is available and simply needs to be evaluated properly to select the most appropriate wasteform alternative.

Third, certain legal considerations must be addressed. For example, we know that ash waste produced from biomass will vary in its level of contamination with varying levels of associated health and safety risk. This could result in a range of disposal options. However, we were informed that present Ukrainian law requires that low-level radioactive waste be stored in special facilities designed to maintain their integrity for at least 300 years. Any other option for such waste will be considered as temporary storage, which means that it will need to be transferred eventually to a permanent facility.

Ukrainian law also provides for an exemption level based on natural background in the area in which the waste is generated and stored. Above this level, it is classified as low-level waste and must go to a special disposal facility. Workshop participants expressed the desire for an efficient process for handling and segregating waste to avoid unnecessary classification of too much material as low-level waste.

Finally, we had a detailed presentation on the planned Vektor waste management and disposal facility and learned that

- Planning was done to ensure integrity of the waste stored inside for at least 300 years.
- Considerations for avoiding placement of the facility in environmentally sensitive areas of the Chornobyl Exclusion Zone was part of the planning.
- The facility is designed to handle 500,000 m^3 of waste (and 500,000 Ci), which should provide ample capacity for any realistic disposal volume of ash.

In summary, workshop participants believe that keeping waste disposal simple and cost effective while adhering to Ukrainian laws and managing risks responsibly is our primary objective.

Обращение с отходами

Краткое изложение и выводы

Том Эрли
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси

Также как то, что к Чернобыльскому проекту по восстановлению при помощи растительности и выработке энергии должен применяться системный подход, по мнению участников семинара подход такого же рода должен использоваться и при оценке альтернативных вариантов обращения с отходами. Были приняты во внимание несколько соображений:

- Несколько рассматриваемых различных вариантов производства биомассы приведут к получению различных типов продуктов в виде биомассы (травяные по сравнению с древесными растениями)

- Несколько находящихся в процессе рассмотрения различных вариантов преобразования биомассы будут приводить к созданию отходов с разными свойствами. Даже при обычной системе сжигания различные типы биомассы создают разную золу по количеству и по качеству (к примеру, травяная биомасса создает больше золы с другими химическими свойствами, чем зола от дерева)

- Смесь типов биомассы, применяемой в качестве топлива, вероятно будет приводить к изменениям в системе преобразования в энергию от одного времени года к другому и от одного года к другому, основываясь на типах, имеющихся в наличии.

В этой связи существует общее убеждение, что до того, пока смогут быть рассмотрены варианты захоронения, сначала мы должны оценить спектр производства биомассы для соответствующего определения диапазона возникающих в результате типов отходов.

Во–вторых, нам необходимо расценить риски, выгоды и стоимость различных вариантов обработки, хранения и захоронения отходов. Мы должны признать то, что загрязняющие вещества в золе (^{137}Cs и ^{90}Sr) будут растворимыми, поэтому для предупреждения выщелачивания потребуется изолирование золы от воды и / или применение какой–либо формы стабилизации отходов. В этом контексте мы обсудили несколько альтернатив формования и подготовки отходов:

- Включение загрязненной золы в бетон (который мог бы использоваться для создания контейнеров для захоронения отходов). Однако, как было указано, международные стандарты могут не признать получаемую при сжигании биомассы золу как подходящую примесь для бетона, а, в случае золы от травяного материала, химический состав золы может неблагоприятным образом воздействовать на структурную прочность производимого бетона.

- Термопластическое капсулирование. Могло бы стать формой отходов с длительной стабильностью, однако должно продемонстрировать способность конкурировать по

стоимости с другими вариантами.

- Пластиковые мешки могут являться подходящими для некоторых отходов в случае, если риск облучения низок.

Участники семинара полагали, что значительная часть информации о свойствах получаемой в результате сжигания биомассы золы и по формованию отходов существует в наличии и просто нуждается в соответствующей оценке для выбора наиболее подходящего варианта формования отходов.

В–третьих, необходимо рассмотреть определенные соображения правового характера. К примеру, мы знаем, что получаемые из биомассы зольные отходы будут иметь различные уровни загрязнения – также различным будет связанный с этим риск для здоровья и безопасности. Такая ситуация может привести в результате к тому, что будут существовать различные варианты захоронения. Однако мы были проинформированы, что настоящее Украинское законодательство требует, чтобы низко радиоактивные отходы хранились на специальных объектах, сконструированных так, чтобы сохранять свою структурную целостность в течении по крайней мере 300 лет. Любой другой вариант для таких отходов будет считаться временным хранением, что означает, что их, в конце концов, придется перевозить на объект постоянного хранения.

Украинское законодательство также предусматривает необязательность выполнения таких требований, если уровень радиоактивности отходов не превышает естественный фоновый уровень местности, где такие отходы были созданы и помещены на хранение. Свыше такого уровня отходы классифицируются как низко радиоактивные и должны направляться на специальный объект для захоронения. Участники семинара выразили пожелание создать эффективный процесс обращения с отходами и их разделения для того, чтобы избежать ненужной классификации слишком большого количества материалов как низко радиоактивных отходов.

В заключении мы прослушали детальный доклад по планируемому объекту Вектор, предназначенному для обращения с отходами и их захоронению, и узнали, что

- Были созданы соответствующие планы для обеспечения целостности отходов, находящихся на хранении внутри (объекта) на протяжении по крайней мере 300 лет.

- В частности, в планы входит избежать размещения объекта в экологически чувствительных местах Чернобыльской Зоны отчуждения.

- Объект предназначен для обращения с 500.000 $м^3$ отходов (и 500.000 Кюри), что должно обеспечить достаточную емкость для любого реалистичного объема золы для захоронения.

Резюмируя сказанное, участники семинара полагают, что наша основная задача заключается в захоронении отходов простым и эффективным по стоимости методом, придерживаясь Украинских законов и принимая во внимание риск, связанный с этим.

CLOSING REMARKS

Vladimir Tokarevsky
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste, Ukraine

This presentation is in Russian, but a translation from Russian into English will be provided.

Attendees at this workshop have participated in two very intense work days. We hope that all participants of the working session have drawn much for themselves that can be very useful.

This past year has been difficult, but at the same time, very beneficial, and, in addition, historic. Last year marked the commencement of the construction of the Vektor complex, which is for the final disposition of radwastes. Approximately 500,000 cubic meters of radwastes need to be prepared for final disposition. They will be reliably isolated from the environment and from the population. Approximately 400,000 curies of radwastes will be temporarily stored in dumpsites. These radwastes can reliably be re-interred in Vektor. There are more than 200,000 curies of very dangerous cesium and strontium in open form in the environment. This cesium and strontium has undergone migration into the environment and into underground waters more than any other radionuclides in the Exclusion Zone. This project is an attempt to resolve this problem, but it cannot be done in 1, 2, or 3 years—30 or even 50 years may be required.

Bryan Castelli has called this ***our project*** and has characterized it as a ***challenge***. We can throw out this challenge of 200,000 curies and accomplish the task of their isolation if we are united. Thousands of cubic meters and thousands of curies sound awesome, but there are only 2 kilograms of strontium and cesium that have created so many problems. These 2 kilograms have contaminated in the Exclusion Zone alone a territory of 3,000 square kilometers and have thus created radioactive materials amounting to approximately 200,000,000 cubic meters, roughly 400,000,000 tons. It appears to be impossible, with the limited manpower available, to clean up such a massive amount of material. This, conference, however, has emphasized the striking capacity of vegetation biomass to store radionuclides. The process is very slow, however, and success may only be realized by the next generation.

I have a personal interest in all these activities, and I thank Giulia Bisconti, who in introducing me today said that Tokarevskiy ***is*** the Biomass Workshop. As ***biomass***, I can trace my roots from these sites, from the present Exclusion Zone. My mother and father were born here in the Polesskiy region. Their parents were born and lived here. The Polesskiy region is now completely uninhabited. I do not want this land to remain empty for all time. People can come back. And we want to help them do this as soon as possible.

I congratulate all the participants of our working session for coming, for expressing their opinions for or against this project. This project is not a simple one. It is very complex, very difficult, but something must be done. We must emphasize that the positive points of this project are far more numerous than the difficult or negative ones.

I thank Jim Hartley for the splendid organization of our seminar, which was organized over the phone and fax. I do not know if Jim burned up his fax or not, but at times, ours was so hot, we had to shut it down.

I thank Gennadiy Lobach, my Deputy at Technocenter, who did much work both on the seminar program and sending out invitations.

I will expand on Jim Hartley's comments. In addition to representatives from Ukraine, Belarus, and the United States, representatives from Russia also are here, and we thank them very much for coming to our seminar.

I thank the Laboratory of International Studies of the Chornobyl Center, which is celebrating its birthday today.

Jim Hartley and I have been very fortunate. We wish success and express our gratitude to participants for their tremendous abilities in presenting this seminar.

I wish you all success in solving this complex, and, I hope, rewarding task.

Thank you for your attention.

ЗАКОНЧЕННЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И ВЫВОДЫ

Владимир Токаревский
Государственная компания по обработке и захоронению смешанных опасных отходов, Украина

Я буду говорить на русском языке, чтобы наши гости знали, что у нас есть перевод и с русского языка на английский.

Мы действительно провели два очень напряженных рабочих дня. Лично я очень многому научился в течение этих дней. Надеюсь, что все участники нашего рабочего совещания также почерпнули для себя очень много полезного.

Прошлый год был для нас достаточно тяжелым, но в то же время очень полезным и, я бы сказал, историческим. В прошлом году было начато строительство комплекса "Вектор", который является ничем иным, как захоронением радиоактивных отходов. Называлась цифра 500 тыс. Кубических метров радиоактивных отходов, которые мы можем захоронить. Я скажу иначе - 500 тыс. Кюри отходов, которые мы сможем надежно изолировать от окружающей среды и от населения. В тех свалках, которые называются временными хранилищами радиоактивных отходов, находится приметно 400 тыс. Кюри. Это то, что мы уже сможем надежно перезахоронить в "Векторе". Но меня больше всего смущает другая цифра. В открытом виде в окружающей среде находится более 200 тыс. Кюри цезия и стронция. Этот цезий и стронций, выражаясь на нашем языке - безхозный, он в большей степени подвержен миграции в окружающую среду, в подземные воды, чем все остальные радионуклиды, находящиеся в Зоне отчуждения. То есть эти 200 тыс. Кюри самые опасные. Поэтому я рассматриваю наш проект как попытку решить эту проблему. Но решить ее не в течение одного, двух или трех лет, а решить ее, возможно, в течение ближайших 30, может быть 50 лет.

Я согласен с Брайаном Кастелли и благодарен ему за то, как он назвал наш проект. Он сказал, что это ВЫЗОВ, это the Challenge. И мы сможем бросить этот вызов 200 тыс. Кюри и решить задачу их изоляции, если мы объединимся. Можно называть цифры десять кубических метров и тысяч Кюри, но те стронций и цезий, которые создали столько проблем для всех нас, - это всего лишь два килограмма цезия и стронция. Эти два килограмма загрязнили только здесь в Зоне отчуждения территорию в 3 тысячи квадратных километров и тем самым создали радиоактивных материалов около 200 миллионов кубических метров, примерно 400 миллионов тонн. Как очистить эту территорию, как очистить 400 миллионов тонн? Как можно бороться с этими бесчисленными радиоактивными атомами имея ограниченное количество людей? Поэтому урок, который я извлек из нашего совещания - это потрясающие способности растительной биомассы, ее возможности аккумулировать радионуклиды. Медленно, уверенно, год за годом. Поэтому я надеюсь, что на этом пути, если не мы, то наши потомки достигнут успеха.

Я хочу сказать, что у меня есть личный интерес во всей этой деятельности. И я благодарен Джулии Висконти, которая представляя меня сегодня сказала, что Токаревский - это Biomass Workshop. Поэтому, как биомасса, а я могу сказать, что мои корни из этих мест,

из теперешней Зоны отчуждения. Здесь в Полесском районе родились мой отец и моя мать. Здесь родились и жили их родители. Полесский район сейчас выселен полностью, Я не хочу, чтобы эта земля пустовала все время. Люди могут сюда вернуться. И мы хотим помочь им это сделать быстрее.

Я хочу поблагодарить всех участников нашего рабочего совещания за то, что они приехали к нам, высказали свои мнения за этот проект или против этого проекта. Этот проект непростой. Он очень сложный, противоречивый. Но все же лучше делать хоть что-то, чем ни делать ничего. Тем более, что положительных моментов в этом проекте гораздо больше, чем спорных или негативных.

Я хотел бы поблагодарить Джима Хартли за великолепную организацию нашего семинара. Я должен сказать, что семинар был организован по телефону и факсу. Не знаю, перегорел ли факс у Джима, но у нас он порой перегревался так, что приходилось его отключать.

Я благодарен Геннадию Лобачу, моему помощнику по Техноцентру, который сделал очень много и по программе семинара и по приглашениям с нашей стороны.

Я хотел бы дополнить Джима Хартли. Кроме представителей Украины, Белоруссии и США здесь присутствуют представители России, которым мы также очень благодарны за то, что они приехали на наш семинар.

Я хотел бы поблагодарить Лабораторию международных исследований Чернобыльского центра, который сегодня отмечает день своего рождения.

Я хотел бы сказать, что у нас с Джимом Хартли, счастливая рука. Поэтому мы пожелаем им успеха, благодарим за то, что они предоставили великолепные возможности для проведения этого семинара.

Я хотел бы пожелать всем нам удачи в решении этой сложной и, надеюсь, благородной задачи.

Спасибо за внимание.

CHORNOBYL PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS ENERGY CONVERSION PROGRAM

Chornobyl Zone Activity Concept of Operations and General Approach to Exclusion Zone Rehabilitation

Nikolai I. Proskura
The Administration of the Exclusion Zone and the Zone of Absolute Resettlement, Ukraine

ABSTRACT

Primary attention in the report was devoted to a new Concept of the Chornobyl Zone, which will define the basic directions of activities in the territory of the Zone by the year 2020. On the basis of the basic provisions of the Concept, recommendations have been formulated for technologies aimed at radioecological, economic, and social rehabilitation of the Chornobyl Zone and other territories of Ukraine that are suffering as a result of the Chornobyl catastrophe.

ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ПРОГРАММА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ

Концепция активности Чернобыльской Зоны и общий подход к восстановлению Зоны отчуждения

Николай И. Проскура
Организация Ограниченной зоны и Зоны отчуждения, Украина

ВЫДЕРЖКИ

Основное внимание в докладе уделено новой Концепции Чернобыльской Зоны, которая будет определять основные направления и характер деятельности на территории Зоны до 2020 года. На основании основных положений Концепции сформулированы рекомендации к технологиям, ориентированным на радиоэкологическую, экономическую и социальную реабилитацию Чернобыльской Зоны и других территорий Украины, пострадавших в результате Чернобыльской катастрофы.

Чернобыльская программа по восстановлению при помощи растительности и преобразованию биомассы в энергию

Концепция активности Чернобыльской Зоны и общий подход к восстановлению Зоны отчуждения

Николай И. Проскура
Организация Ограниченной зоны и Зоны отчуждения, Украина

Зона відчуження і зона безумовного (обов'язкового) відселення на території України (далі за текстом Зона) - частина території України, найбільш забруднена радіонуклідами внаслідок Чорнобильської катастрофи, з особливою формою управління, землі якої виведені з господарського обігу, відмежені від суміжних територій і переведені до категорії радіаційно небезпечних земель.

Особливості радіоекологічного стану Зони обумовлюють характер діяльності на її території. Ця діяльність проводиться у відповідності до Концепції Зони, розробленої до 2020 року. У зв'язку зі складністю проблеми, можливими змінами у діючому законодавстві та нормативно-правових документах, прийняттям нових законодавчих актів, дана Концепція має періодично уточнюватись та коригуватись (не рідше як один раз на 5 років).

Концепцією передбачається визначення:

- прогнозу розвитку екологічної та радіаційно-гігієнічної ситуації в Зоні, забезпечення радіаційної безпеки та медичної допомоги працюючим у Зоні;
- функціонального районування території Зони;
- основних напрямків та змісту діяльності в ній;
- функцій і форм організації управління Зоною;
- основних заходів щодо її реалізації.

Мета і завдання Концепції

Концепція, грунтуючись на чинних нормативно-правових документах та висновках наукових досліджень, визначає систему організаційних, екологічних, медичних і науково-технічних принципів та пріоритетів виробничої, науково-технічної та іншої діяльності в Зоні з метою мінімізації екологічних та соціально-економічних наслідків Чорнобильської катастрофи, а також обгрунтування можливостей комплексної реабілітації території Зони.

Завдання Концепції полягають у визначенні шляхів довгострокового утримання Зони і пріоритетів діяльності в ній за основними напрямками, що забезпечують зниження рівня екологічного ризику та мінімізацію її впливу на радіоекологічну обстановку та здоров'я населення України.

Збереження розташованої у Зоні власності для наступного або поточного обмеженого використання, створення прийнятних умов для комплексної реабілітації Зони, також є завданням діяльності і управління на територіях Зони.

Правова та нормативна база Концепції

Нормативно-правову базу Концепції складають положення Конституції України щодо подолання наслідків Чорнобильської катастрофи, Закони України "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи", "Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи", "Про власність", "Про охорону навколишнього природного середовища", "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку", "Про поводження з радіоактивними відходами", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", "Про радіаційний захист людини", Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), а також інші закони і нормативно-правові акти України.

Концепція Зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення на території України є складовою частиною розробки стратегії, направленої на подолання наслідків Чорнобильської катастрофи. Відповідно до цього, при її розробці враховані основні положення Концепції національної безпеки України, Концепції державного регулювання безпеки і управління ядерною галуззю в Україні, Концепції захисту населення України у зв'язку з Чорнобильською катастрофою, Концепції Чорнобильської зони відчуження на території України, Концепції зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС, Стратегії стабілізації стану об'єкта "Укриття", Стратегії перетворення об'єкта "Укриття", проектів Концепції зони безумовного (обов'язкового) відселення в Житомирській і Київській областях та Концепції поводження з радіоактивними відходами об'єкту "Укриття", інших документів.

Мета діяльності в Зоні і завдання щодо ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи

Головною метою діяльності в Зоні, спрямованою на ліквідацію наслідків Чорнобильської катастрофи, є переведення її в екологічно безпечний стан на всіх етапах утримання, а також комплексна реабілітація забруднених територій згідно з визначеними критеріями реабілітації.

Вкладання коштів, трудових та матеріальних ресурсів у всяку діяльність на території Зони здійснюється за принципом пріоритетності, виходячи з економічних можливостей країни.

Основними напрямками діяльності в Зоні є:

- захист населення України відповідно до норм радіаційної безпеки НРБУ-97 від радіоактивного опромінення, джерела якого знаходяться в Зоні, а також радіаційний захист персоналу, що працює в Зоні;
- переведення техногенних об'єктів, що містять радіоактивні матеріали, в контрольований стан;
- обмеження міграції радіонуклідів та зменшення впливу радіоактивного забруднення на навколишнє середовище шляхом ландшафтовідновлення, з пріоритетним використанням природних процесів самовідновлення;
- ведення радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища в Зоні;

- забезпечення інфраструктури, необхідної для підтримання діяльності і перебування в Зоні, оскільки її сучасна інфраструктура не повною мірою відповідає виробничим і соціальним завданням, передбаченим Концепцією;
- проведення наукових досліджень;
- збереження пам'яток історії та культури, культових споруд і кладовищ.

Принципи діяльності в Зоні

Діяльність в Зоні має бути спрямована на мінімізацію екологічної небезпеки Зони для населення України з урахуванням екстремальних природних ситуацій, імовірних в умовах регіону, в тому обсязі, в якому це можливо і економічно виправдано.

В Зоні допускається виконання лише тих робіт, які не погіршують радіоекологічну обстановку, забезпечують підвищення рівня вивченості її природно-техногенного комплексу і не перешкоджають раціональному використанню території Зони в майбутньому. Обсяги радіаційно небезпечних робіт і чисельність персоналу Зони мають бути мінімально необхідними та обгрунтованими виходячи з принципу виправданості (НРБУ-97), за яким такі роботи не повинні здійснюватися, якщо шкода від них більша за користь.

Будь-яка діяльність у Зоні щодо покращення радіоекологічної обстановки має здійснюватися з максимальним використанням природних факторів і мінімальним втручанням у природне середовище.

Система радіаційного захисту, базуючись на діючих нормативних документах, має враховувати специфіку умов Зони. Заходи щодо радіаційного захисту мають бути розраховані не лише на персонал Зони, а і на населення - до завершення його відселення із Зони. За умов наявності в Зоні неконтрольованих (розосереджених) джерел радіації мінімізація доз зовнішнього і внутрішнього опромінення має забезпечуватися режимом жорстких обмежень і адміністративного контролю.

Виробнича діяльність в Зоні

Основні види виробничої діяльності в Зоні пов'язані з:
- експлуатацією та зняттям з експлуатації ЧАЕС (передбачається спорудження необхідних об'єктів і проведення відповідних робіт);
- забезпеченням стабілізації стану об'єкту "Укриття" та перетворення його в екологічно безпечну систему;
- створенням комплексу виробництв з переробки та зберігання РАВ Зони;
- удосконаленням інфраструктури, яка забезпечує діяльність у Зоні;
- реалізацією інших напрямків виробничої діяльності в Зоні (в тому числі дезактивації), що не суперечать діючому законодавству України і цій Концепції.

Діяльність підприємств у Зоні має підлягати страхуванню згідно з чинним законодавством.

Поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом

Об'єктами утворення та місцями зосередження радіоактивних відходів (РАВ) у Зоні є:

- об'єкт "Укриття";
- Чорнобильська АЕС;
- спеціально обладнані пункти поховання РАВ;
- пункти тимчасової локалізації радіоактивних відходів;
- пункти спеціальної обробки транспортних засобів;
- виробництво, пов'язане з дезактивацією обладнання, матеріалів тощо.

Специфіка відходів у Зоні зумовлена великою кількістю та різноманітністю відходів, їх складом, активністю і наявністю у відходах альфа-випромінювачів.

Стратегічним завданням щодо поводження з РАВ у Зоні є мінімізація шкідливого впливу об'єктів з РАВ на навколишнє середовище з їх приведенням у майбутньому в екологічно безпечний стан.

Це завдання реалізується шляхом:

- розроблення схеми поводження з РАВ, що передбачає створення технологічного циклу з їх переробки та контрольованого збереження;
- створення єдиної системи обліку всіх радіоактивних відходів;
- ліквідації, перепоховання чи локалізації всіх ПТЛРВ в ЗВ;
- вилучення високоактивних відходів з об'єкту "Укриття" та ПТЛРВ шляхом розподілу на ядерно небезпечні та ядернобезпечні;
- забезпечення контрольованого зберігання контейнерів з високоактивними відходами у сховищах поверхневого типу, оснащених системами перевантаження, контролю безпеки;
- тимчасового зберігання відпрацьованого ядерного палива ЧАЕС у сховищі відпрацьованого ядерного палива (СВЯП) та СВЯП-2 ЧАЕС, будівництво якого передбачається Програмою робіт щодо зняття з експлуатації ЧАЕС.

Для правильного поводження з високоактивними відходами у Зоні повинні бути створені:

- додаткове сховище високоактивного ядерного палива (ВЯП) енергоблоків ЧАЕС;
- комплекс сортування та контейнеризації високоактивних відходів (ВАВ), що вилучаються під час виведення ЧАЕС з експлуатації та переведення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечний стан;
- сховище для тимчасового зберігання кондиціонованих ВАВ;
- технічні засоби дистанційного вилучення ВАВ з об'єкту "Укриття" та пунктів поховання радіоактивних відходів і прикладного контролю матеріалів, що розподіляються.

Для збирання, сортування, переробки, зберігання та поховання низько- і середньоактивних відходів Зони, у тому числі об'єкту "Укриття", доцільно продовжити роботи по спорудженню спеціального комплексу "**Вектор**" виходячи з принципу виправданості та економічних можливостей.

Низько- і середньоактивні відходи поділяються за категоріями на такі, що переробляються, і такі, що не підлягають переробці.

Відходи, що не переробляються, надходять до сховищ приповерхневого типу, обладнаних системами перевантаження та контролю.

Відходи, що переробляються, в транспортно-пакувальних комплектах надходять на технологічні лінії спалювання, пресування, переплавлення та цементування.

Контейнери з переробленими відходами повинні розміщуватися у сховищах поверхневого типу, обладнаних системами перевантаження, дренажного водовідведення датчиками контролю за станом відходів.

Для прийняття обгрунтованих рішень щодо подальшої стабілізації або перепоховання відходів, що знаходяться в ПТЛРВ, повинен здійснюватися радіологічний моніторинг.

Подальше поводження з РАВ та ВЯП має вирішуватися відповідно до Державної програми поводження з радіоактивними відходами.

Переробка та зберігання промислових і побутових відходів, що утворюються в Зоні в процесі життєдіяльності персоналу, здійснюються відповідно до чинних нормативних документів.

Наукові дослідження в Зоні

Територія Зони є унікальним науковим полігоном для вивчення впливу радіоактивного забруднення на рослинний і тваринний світ, а також людину. Відповідно до Комплексної програми робіт по ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС у Зоні наукові дослідження власними силами і з залученням підрядних наукових організацій і установ виконували: Об'єкт "Укриття", МНТЦ "Укриття", ДП ЧоНЦМД, ДСП "Чорнобильліс", ДСП "Техноцентр", ДСП "Комплекс", СМСЧ-16, ДП "РАДЕК".

Наукові дослідження в Зоні проводяться і координуються в рамках Національної програми ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи. Передбачається можливість проведення в Зоні науково-дослідних робіт в межах інших державних та національних програм, якщо необхідність і доцільність виконання їх на її території економічно і екологічно обгрунтовані. Необхідно розвивати міжнародне співробітництво з метою підвищення ефективності наукових досліджень в Зоні, спрямованих на мінімізацію наслідків Чорнобильської катастрофи.

В Зоні необхідно створити відповідну базу для проведення наукових досліджень. Ці дослідження мають на меті не тільки зменшення наслідків Чорнобильської катастрофи, а і отримання інформації, необхідної для удосконалення системи радіаційної безпеки.

Забезпечення можливостей розробки науково обгрунтованих і адекватних рішень вимагає системного підходу і узагальнення всього комплексу інформації, отриманої різними відомствами і організаціями.

В умовах обмеженого фінансування Програмою наукових досліджень у Зоні повинні бути визначені пріоритети фундаментальних і прикладних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт по всіх напрямках ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи із забезпеченням їх потрібними ресурсами. Передбачається:

- проведення фундаментальних і прикладних досліджень по всьому комплексу проблем з метою отримання повних і всебічно обгрунтованих практичних висновків і розробки конкретних заходів;
- проведення досліджень, розробка концептуальних основ і практичних заходів, апробація розроблених заходів по реабілітації територій, забруднених радіоактивними речовинами (включаючи всі аспекти природокористування, проживання і виробничої діяльності населення);
- функціональне взаємодоповнення моніторингу науковими дослідженнями з метою розробки моделей стану і зміни радіоекологічних ситуацій на базі єдиної фактографічної системи Зони;
- дослідження, спрямовані на наукову підтримку реабілітаційних контрзаходів, а також дослідження проблем адаптації природних комплексів і біосистем до змін характеру техногенного навантаження;
- узагальнення всієї інформації, як отриманої раніше, так і отриманої в результаті досліджень, проведених в Зоні різними відомствами і організаціями;
- проведення фундаментальних і прикладних комплексних досліджень по вивченню впливу радіації, зокрема малих доз опромінення, на здоров'я людини та навколишнє природне середовище.

Види діяльності, заборонені у Зоні

Відповідно до Закону України "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи" у Зоні забороняється:

- постійне проживання населення;
- здійснення діяльності з метою одержання товарної продукції без спеціального дозволу Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи;
- перебування осіб, які не мають на це спеціального дозволу, а також залучення до роботи осіб без їх згоди;
- вивезення за межі Зони без спеціального дозволу Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи землі, глини, піску, торфу, деревини, а також заготівля і вивезення рослинних кормів, лікарських рослин, грибів, ягід та інших продуктів побічного лісокористування, за винятком зразків для наукових цілей;
- винесення або вивезення із Зони будівельних матеріалів і конструкцій, машин і устаткування, домашніх речей тощо без спеціального дозволу Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи;

- ведення сільськогосподарської, лісогосподарської, виробничої та іншої діяльності, а також будівництво без спеціального дозволу Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи;
- випасання худоби, порушення середовища перебування диких тварин, спортивне та промислове полювання та рибальство;
- перегін тварин, сплав лісу;
- будь-яка інша діяльність, яка не забезпечує режим радіаційної безпеки;
- перебування осіб, які мають медичні протипоказання для роботи в контакті з джерелами іонізуючого випромінювання або щодо яких встановлено причинний зв'язок інвалідності з роботами по ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, оскільки вони є професійно хворими.

У цьому докладі за браком часу я не маю змогу повністю викласти Концепцію Зони. Тому я зосередив увагу переважно на тих її положеннях, які мають відношення до теми нашого семінару, а саме до обговорювання українсько-американського проекту «*Ukraine/USA CEZ Surface Contamination Clean-Up Program*» та інших аналогічних проектів . Підготовка та виконання цього проекту, а також інших проектів, націлених на реабілітацію Зони, повинні базуватись на Концепції зони. Її положення, особливо ті, що викладені вище, дають змогу сформулювати

рекомендації щодо підходів та технологій , які можуть бути залучені для еколого-економічної реабілітації Зони:

- безлюдні технології або технології з мінімальним чисельністю персоналу (принцип мінімізації берозатрат);
- технології, що дають екологічний ефект (наприклад фіксація, , очистка, ізоляція радіонуклідів та ін.);
- технології з максимальним використанням природних процесів;
- технології , що мінімально наносять шкоду навколишньому середовищу (не перевищують звичайні природоохоронні нормативи);
- технології , що дають екологічно чисту продукцію (наприклад науково-технічну інформацію, електроенергію, "чисті" сільгосппродукти , та інше);
- технології , що можуть давати забруднену радіонуклідами продукцію, але ця продукція буде використовується в межах зони відчуження (наприклад. як компоненти в бетонах для контейнерів при складуванні та захороненні радіоактивних відходів);
- технології ,які є рентабельні або, як мінімум, самоокупні.

CHORNOBYL PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS ENERGY CONVERSION PROGRAM

Surface Contamination Clean-Up of Land in the Ukraine CEZ

V. Tokarevsky
Technocentre, Ukraine

George Courville
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee

ABSTRACT

This presentation describes a program being jointly proposed by Technocentre, a State Special Company in Ukraine and Oak Ridge National Laboratory, a Department of Energy laboratory in the U.S.A. The primary objective of the program is to return land in Ukraine restricted by radionuclide contamination to immediate economic use through production of biofuels for conversion to electricity and thermal energy. Other objectives are to promote good conservation practices on the large quantity of land required for the project, to reduce the likelihood of radionuclides spreading outside the CEZ, and to develop new, high-yield, high-uptake phytoremediation systems. The program combines enhanced phytoremediation systems with technologies for growing and harvesting high- yield plantation crops for biofuel, technologies for converting biofuel to electricity and thermal energy, and technologies for immobilizing radioactive wastes. Some of these technologies exist commercially, some have been convincingly demonstrated, and some still require research to demonstrate their viability. In addition, the systems concept that has been developed for handling contaminated biofuels is novel, and the magnitude of the effort clearly exceeds any that has yet been attempted. These issues present difficult challenges for system design and technology selection. The program assessment, which precedes project start-up and is structured to address these issues, is critical. To assure that all viable options for different technologies are conscientiously considered during the assessment requires substantial teamwork among professionals in Ukraine and the U.S. In addition, an Advisory Committee with international representation will provide oversight for the entire program.

A preliminary program strategy was presented. This includes, after the assessment, a 1 MWe start-up system and a 10 MWe operational system. The 1 MWe start-up system will likely be based on conventionally available conversion technology and initially will use existing forest biomass. This will allow a quick start-up which is important to the Ukrainian partners; it will provide an opportunity to establish better forest fire management practices in the Chornobyl Exclusion Zone; it will provide experience needed for development of a project infrastructure, and it will allow time to establish plantation systems and to make appropriate changes in the program based on operating experiences. The 10 MWe system is sized to meet the electricity needs of the Chornobyl Zone and the Center for Treatment and Disposal of Low-Level Radioactive Waste, which is under construction. This system will use biofuel principally from plantation crops and will likely involve upgrading the 1 MWe unit as well as adding a second conversion process involving an advanced design, for example, hydrogen production from steam reformation and a fuel cell converter. The last phase of the program, growth to final capacity (as much as 500 MWe using all available Chornobyl forests and plantation biofuel), will proceed at a pace dictated by the ability of Ukraine to allocate funding and to obtain private sector and foundation funding.

ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ПРОГРАММА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ

Очистка поверхностного загрязнения земли в Чернобыльской Зоне отчуждения на Украине

В. Токаревский
Техноцентр, Украина

Джордж Коурвилл
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок–Ридж, штат Теннесси

ВЫДЕРЖКИ

Настоящий доклад дает описание программы, предлагаемой совместно Техноцентром, Специальной Государственной Компанией на Украине, и Окриджской Национальной Лабораторией, научно–исследовательским учреждением Министерства энергетики Соединенных Штатов Америки. Основная задача программы заключается в немедленном возвращении в экономическое пользование подвергшихся загрязнению радионуклидами земель на Украине путем производства биологических видов топлива для преобразования в электрическую и тепловую энергию. Другими задачами являются способствование приемам сохранения на обширных пространствах требуемых для проекта земель, снижение вероятности разноса радионуклидов за пределы ЧЗО и разработка новых, высокопродуктивных, обладающих высокой поглощающей способностью систем восстановления при помощи растительности. Программа сочетает улучшенные системы восстановления при помощи растительности с технологиями выращивания и уборки высокопродуктивных возделываемых культур для биотоплива, технологиями преобразования биотоплива в электрическую и тепловую энергию и технологиями связывания радиоактивных отходов. Некоторые из этих технологий существуют в коммерческом применении, некоторые были убедительно себя показали, а некоторые еще потребуют исследований для того, чтобы продемонстрировать свою жизнеспособность. Помимо этого, была разработана новаторская системная концепция для обращения с загрязненными видами биотоплива, и размах работ совершенно ясно превышает любые, предпринимавшиеся до сего времени. Эти предметы ставят сложные вопросы в ходе разработки систем и выбора технологий. Чрезвычайно важной является оценка программы, предшествующая началу проекта, и построенная таким образом, чтобы позволить разрешить эти проблемы. Для того, чтобы скрупулезно рассмотреть все жизнеспособные варианты по различным технологиям, требуется напряженная коллективная работа, которая должна проводиться специалистами Украины и Соединенных Штатов Америки. В дополнение, Консультативный Комитет с международным представительством обеспечит надзор за всей программой в целом.

Была представлена предварительная стратегия программы. Она включает в себя, вслед за проведением оценки, стартовую систему мощностью 1 $МВт_e$ и действующую затем систему на 10 $МВт_e$. Стартовая система мощностью 1 $МВт_e$ вероятно будет основываться на коммерчески доступной технологии преобразования и первоначально будет утилизировать существующую лесную биомассу. Это даст возможность 1) обеспечить быстрое начало работ, что является важным для Украинских партнеров, 2) дать

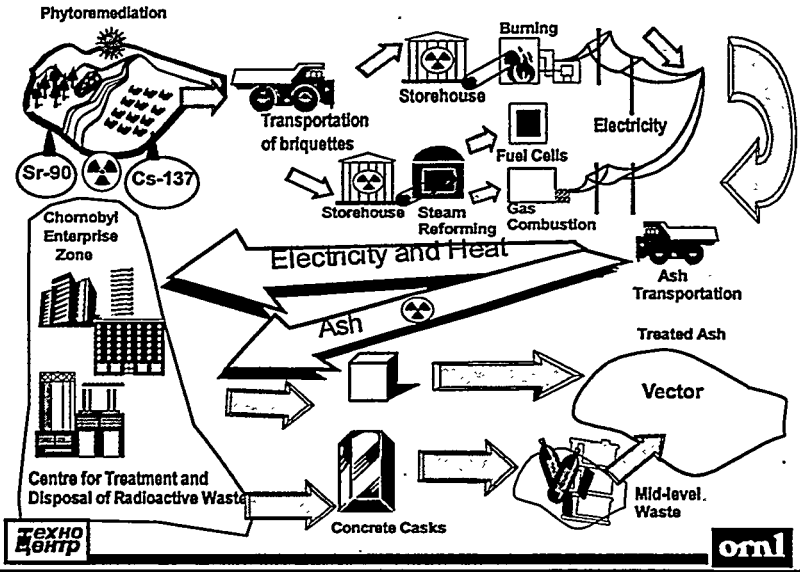
возможность разработать улучшенные методы борьбы с лесными пожарами в Чернобыльской Зоне отчуждения, 3) дать опыт, необходимый для разработки инфраструктуры проекта, и 4) обеспечить время на создание возделываемых систем и внесение соответствующих изменений в программу, основывающихся на опыте ведения работ. Размер системы мощностью 10 $МВт_e$ определен с тем, чтобы обеспечить потребности в электроэнергии Чернобыльской Зоны и Центра по обработке и захоронению низко–радиоактивных отходов, находящегося в процессе строительства. Эта система будет использовать биотопливо, преимущественно от возделываемых растений, и вероятно будет включать усовершенствование энергоблока мощностью 1 $МВт_e$, а также добавление второго процесса преобразования с применением передового проекта, например, выработки водорода в результате реформинга пара и преобразователя на топливном элементе. Последняя фаза проекта, достижение окончательной производственной мощности (вплоть до 500 $МВт_e$ с использованием всех имеющихся в Чернобыле лесов и получаемого от возделываемых культур биотоплива), будет проводиться в течение такого времени, которое будет определяться возможностями Украины в ассигновании средств и получении их со стороны частного сектора и частных фондов.

Program Objectives

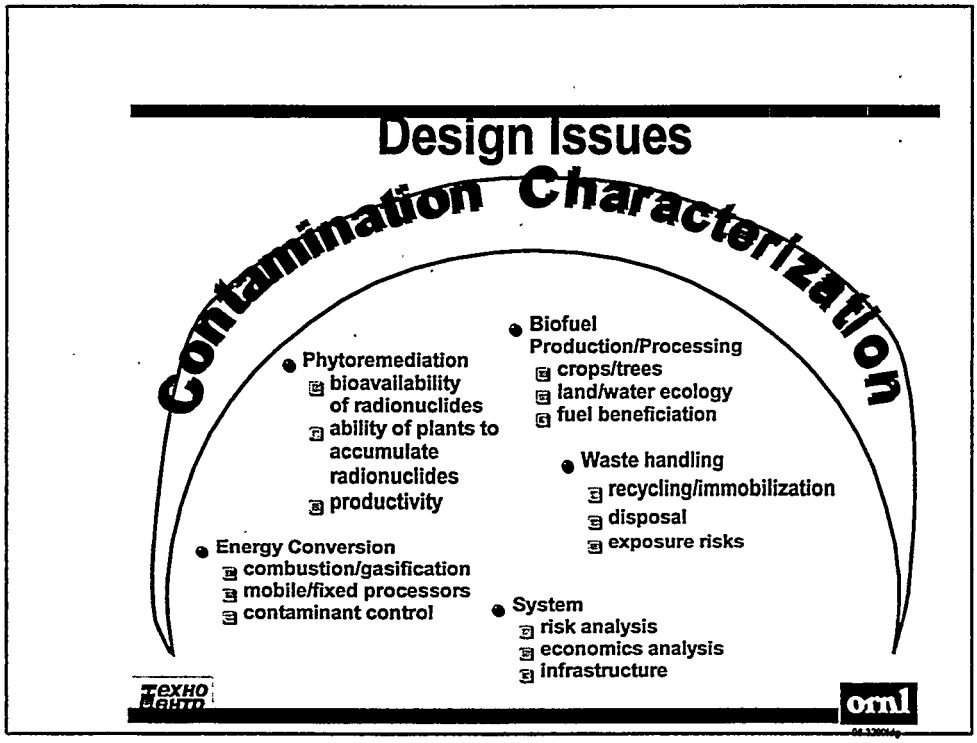
- To return land contaminated by radionuclides to immediate economic use through energy production from biomass.
- To establish a biomass production system in CEZ that
  - promotes good soil conservation practices
  - reduces the likelihood of radionuclides spreading outside the CEZ
  - accelerates soil clean-up through phytoextraction of radionuclides by plants and trees.

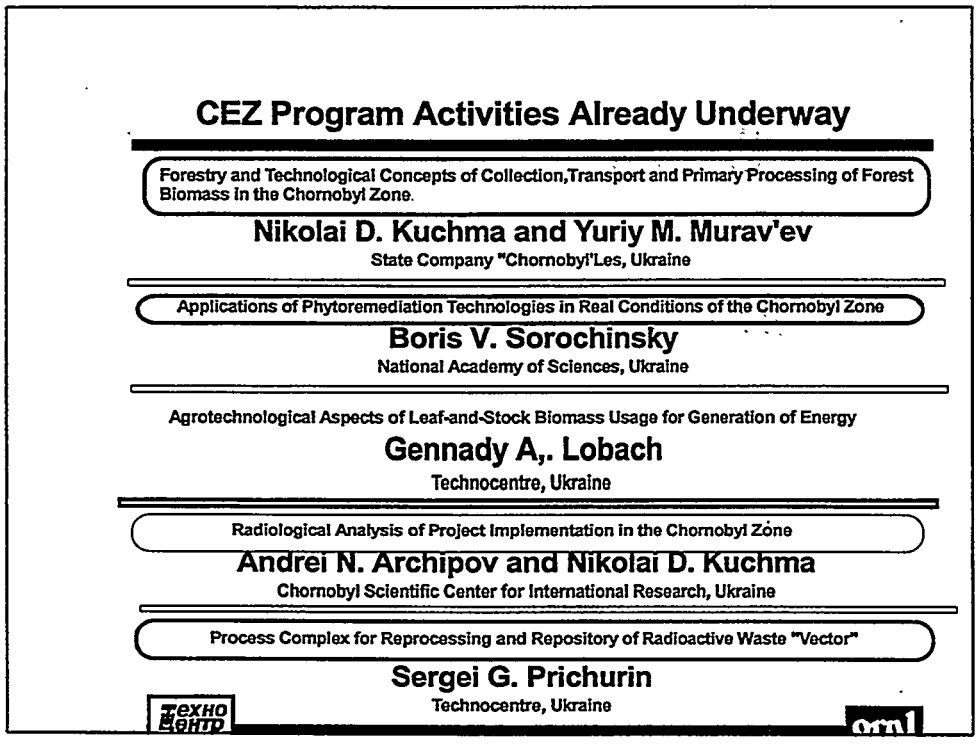
Технo Центр ornl

Systems Concept for 10 MWe Chornobyl Exclusion Zone Program



Технo Центр ornl


Design Issues
Contamination Characterization
Phytoremediation
bioavailability of radionuclides
ability of plants to accumulate radionuclides
productivity
Biofuel Production/Processing
crops/trees
land/water ecology
fuel beneficiation
Waste handling
recycling/immobilization
disposal
exposure risks
Energy Conversion
combustion/gasification
mobile/fixed processors
contaminant control
System
risk analysis
economics analysis
infrastructure
ТЕХНО ЦЕНТР
ornl


CEZ Program Activities Already Underway
Forestry and Technological Concepts of Collection,Transport and Primary Processing of Forest Biomass in the Chornobyl Zone.
Nikolai D. Kuchma and Yuriy M. Murav'ev
State Company "Chornobyl'Les, Ukraine
Applications of Phytoremediation Technologies in Real Conditions of the Chornobyl Zone
Boris V. Sorochinsky
National Academy of Sciences, Ukraine
Agrotechnological Aspects of Leaf-and-Stock Biomass Usage for Generation of Energy
Gennady A,. Lobach
Technocentre, Ukraine
Radiological Analysis of Project Implementation in the Chornobyl Zone
Andrei N. Archipov and Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Center for International Research, Ukraine
Process Complex for Reprocessing and Repository of Radioactive Waste "Vector"
Sergei G. Prichurin
Technocentre, Ukraine
ТЕХНО ЦЕНТР
ornl

Program Strategy

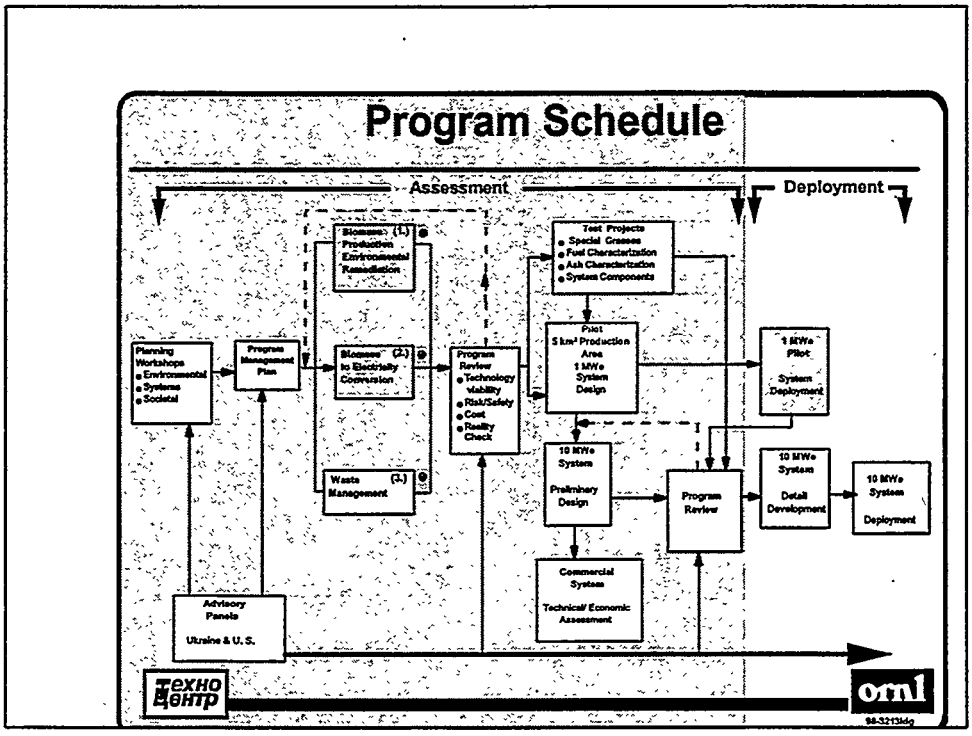
Year	Activity	Land	Power
1998	Creation of the Advisory Committee	—	—
1998	Assessment	—	—
1999	Pilot Implementation	5 km²	1 MW
2000			
2001	Low Power Implementation	50 km²	10 MW
2002			
2002	Middle Power Implementation in CEZ	2000 km²	400 MW
2003			

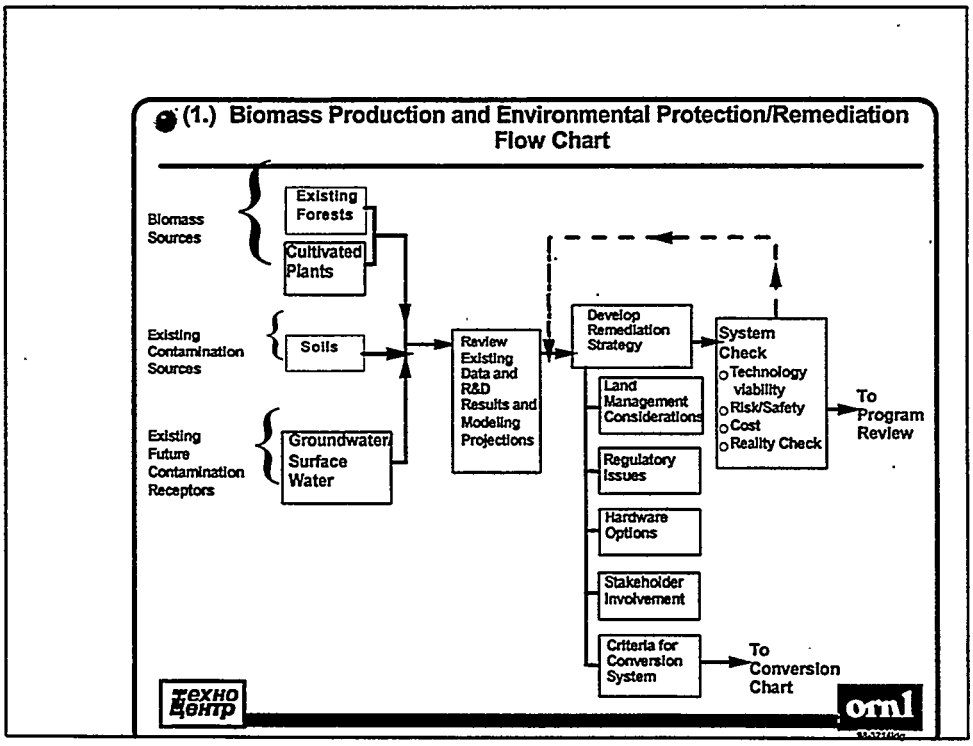
Техно Центр ornl

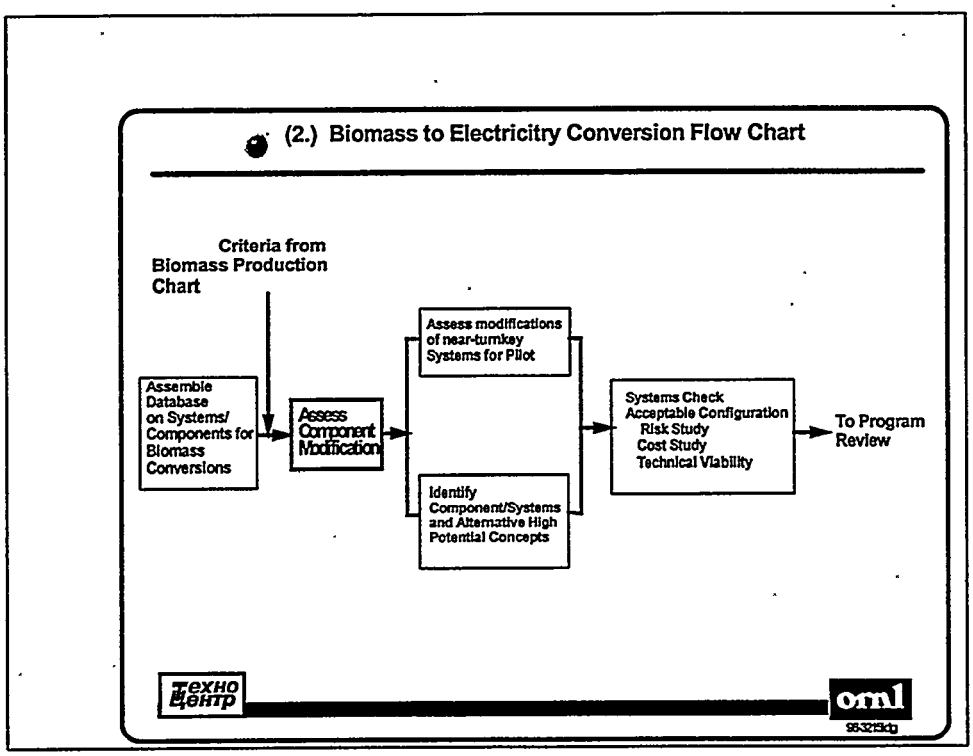
ASSESSMENT

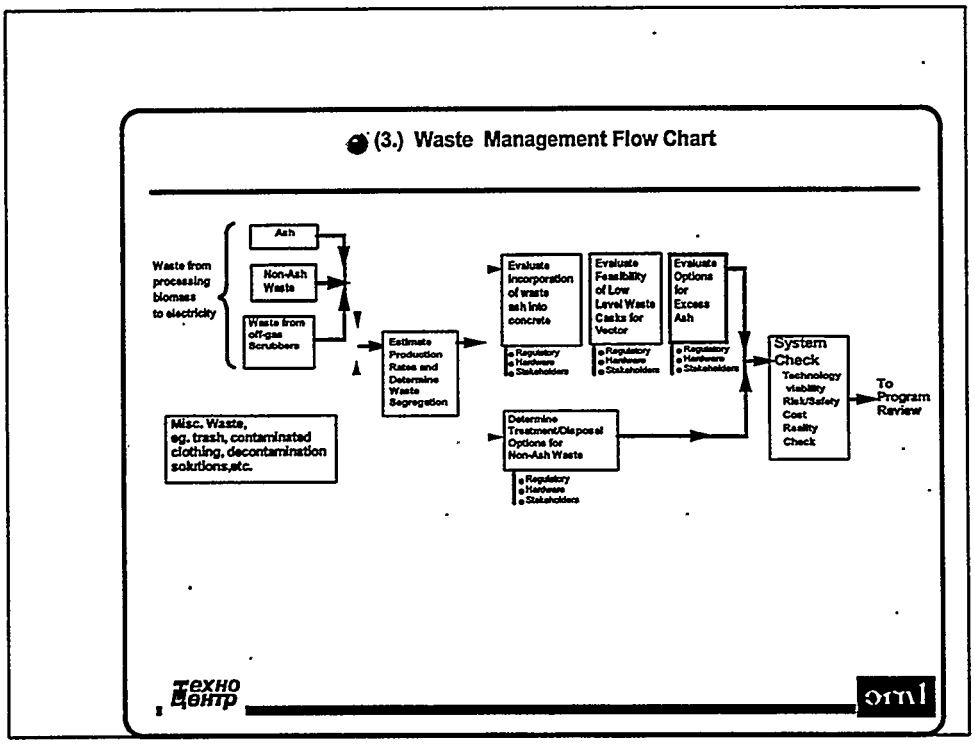
- Purpose:
  To ensure
  - A "no-regrets" policy relative to environment and health
  - Selection of appropriate technologies and partners
  - Selection of an optimum implementation strategy
- Results:
  - Develop a business plan for implementation of all phases
  - Identify and develop strategies for
    - environment and health issues
    - regulatory and licensing issues
    - major technical issues
- Total Cost: $1,272,000 (to be cost-shared)

Техно Центр ornl


Program Schedule
Assessment
Deployment
Planning Workshops
Environmental
Systems
Societal
Program Management Plan
Biomass (1.) Production Environmental Remediation
Biomass (2.) to Electricity Conversion
Waste (3.) Management
Program Review
Technology viability
Risk/Safety
Cost
Reality Check
Test Projects
Special Grasses
Fuel Characterization
Ash Characterization
System Components
Pilot 5 km² Production Area 1 MWe System Design
10 MWe System Preliminary Design
Commercial System Technical/ Economic Assessment
Program Review
1 MWe Pilot System Deployment
10 MWe System Detail Development
10 MWe System Deployment
Advisory Panels Ukraine & U.S.
ТехноЦентр
ornl


(1.) Biomass Production and Environmental Protection/Remediation Flow Chart
Biomass Sources
Existing Forests
Cultivated Plants
Existing Contamination Sources
Soils
Existing Future Contamination Receptors
Groundwater Surface Water
Review Existing Data and R&D Results and Modeling Projections
Develop Remediation Strategy
Land Management Considerations
Regulatory Issues
Hardware Options
Stakeholder Involvement
Criteria for Conversion System
To Conversion Chart
System Check
Technology viability
Risk/Safety
Cost
Reality Check
To Program Review
ТехноЦентр
ornl


(2.) Biomass to Electricitry Conversion Flow Chart
Criteria from Biomass Production Chart
Assemble Database on Systems/ Components for Biomass Conversions
Assess Component Modification
Assess modifications of near-turnkey Systems for Pilot
Identify Component/Systems and Alternative High Potential Concepts
Systems Check
Acceptable Configuration
Risk Study
Cost Study
Technical Viability
To Program Review
Техно Центр
oml


(3.) Waste Management Flow Chart
Waste from processing biomass to electricity
Ash
Non-Ash Waste
Waste from off-gas Scrubbers
Misc. Waste, eg. trash, contaminated clothing, decontamination solutions,etc.
Estimate Production Rates and Determine Waste Segregation
Evaluate Incorporation of waste ash into concrete
Evaluate Feasibility of Low Level Waste Casks for Vector
Evaluate Options for Excess Ash
Regulatory
Hardware
Stakeholders
Determine Treatment/Disposal Options for Non-Ash Waste
System Check
Technology viability
Risk/Safety
Cost
Reality Check
To Program Review
Техно Центр
oml

Об'єднана програма Україна/США

Очищення земель ЧЗВ на Україні

від поверхневого радіаційного забруднення

В. Токаревський, Техноцентр, Україна
Г. Коувіл, ОРНЛ, США

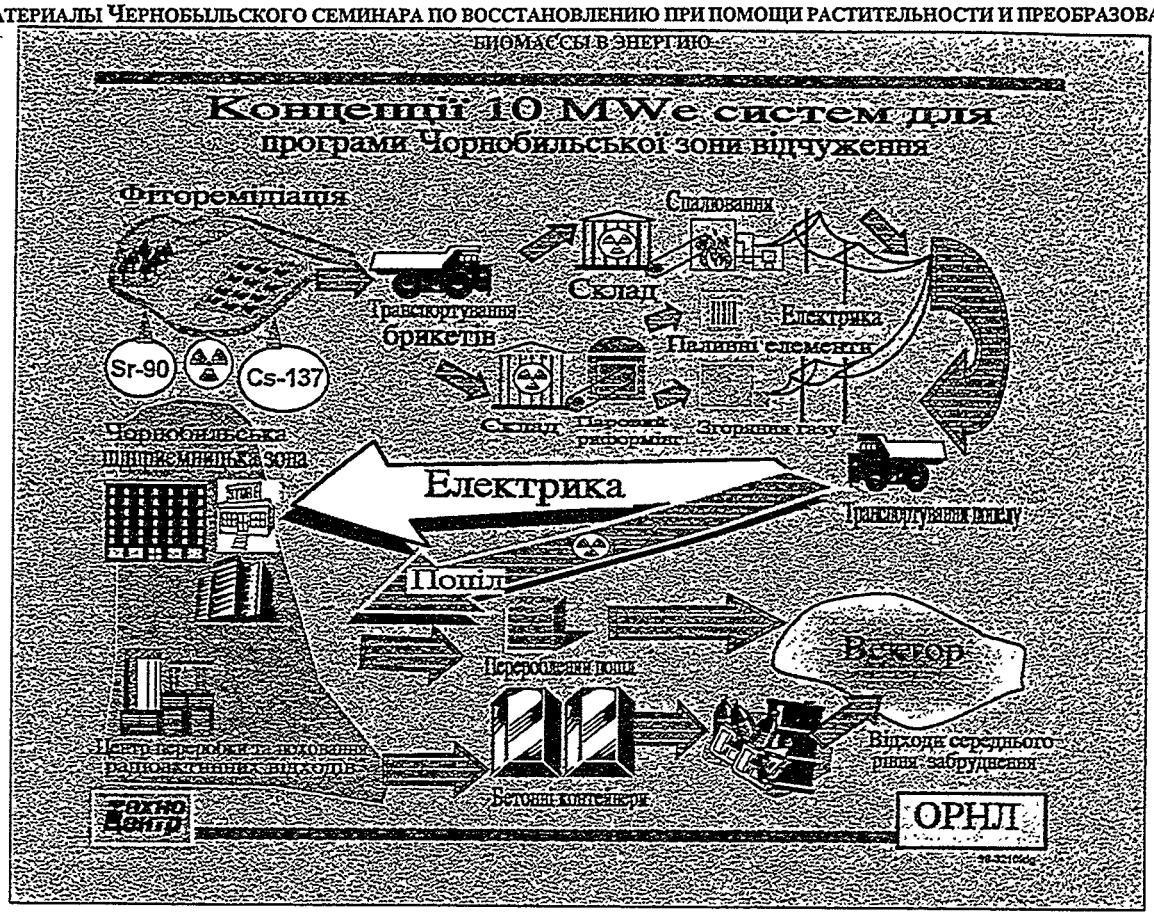
Лютий 1998

Техно Центр ОРНЛ

Мета програми

- Повернути землі, забруднені радіонуклідами, до невідкладного господарчого використання шляхом виробництва енергії з біомаси
- Установити в ЧЗВ систему виробництва біомаси, яка
  - сприяє ефективній практиці зберігання ґрунту
  - знижує можливість поширення радіонуклідів за межі ЧЗВ
  - прискорює очищення ґрунту шляхом фітоекстракції радіонуклідів рослинами та деревами

Техно Центр ОРНЛ



Украина / Окриджская Национальная Лаборатория, Программа по поверхностному загрязнению в Чернобыльской Зоне отчуждения
В. Токаревксий, Джордж Коурвилл

Стратегія програми

Рік	Діяльність	Площа	Потужність
1998	Техніко-економічне обгрунтування		
1999 2000	Експериментальна реалізація	5 km²	1 MW
2001 2002	Мало-потужна реалізація	50 km²	10 MW
2002 2003	Середньо-потужна реалізація	2000 km²	400 MW

ТехноЦентр

ОРНЛ

Техніко-економічне обгрунтування

- Мета:

Забезпечити:

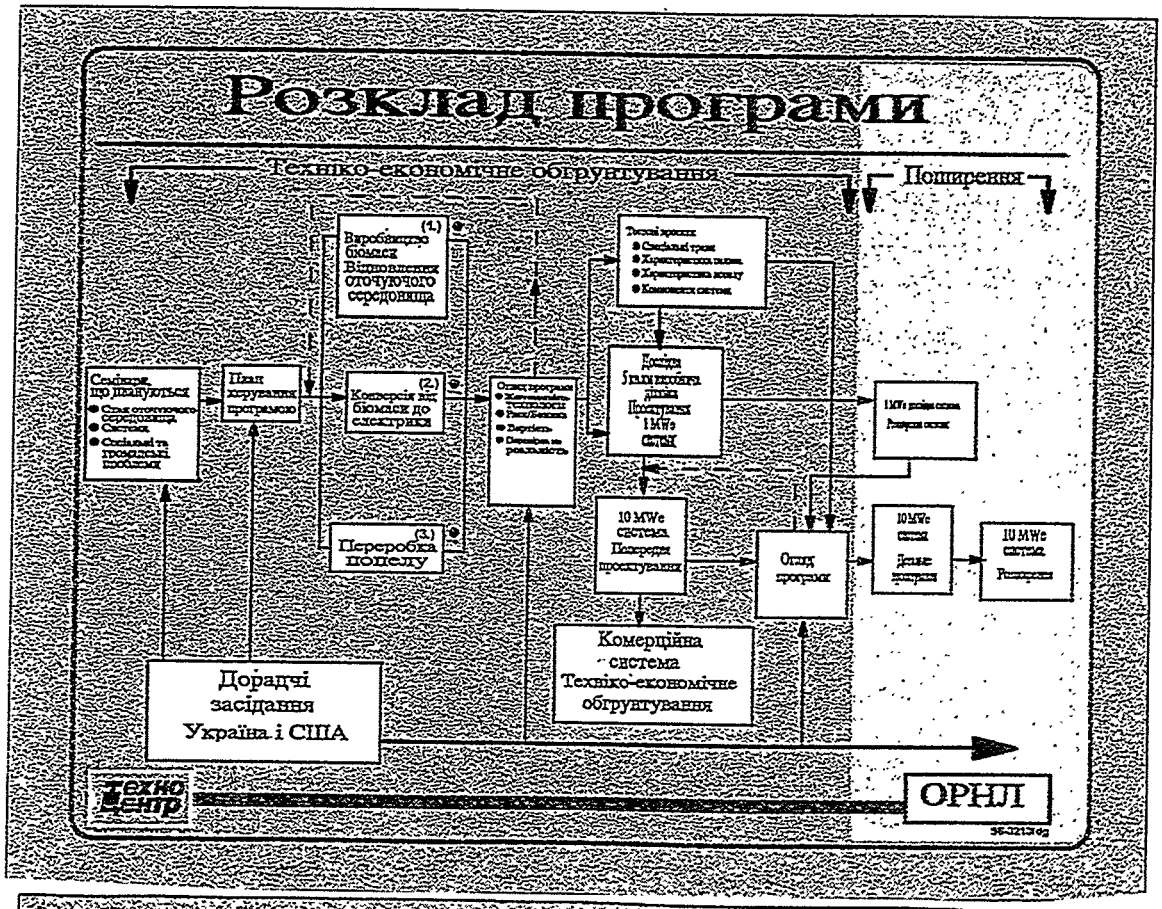
- політику "ніяких шкодувань" щодо оточуючого середовища і здоров"я
- вибір відповідної технології
- вибір оптимальної стратегії застосування

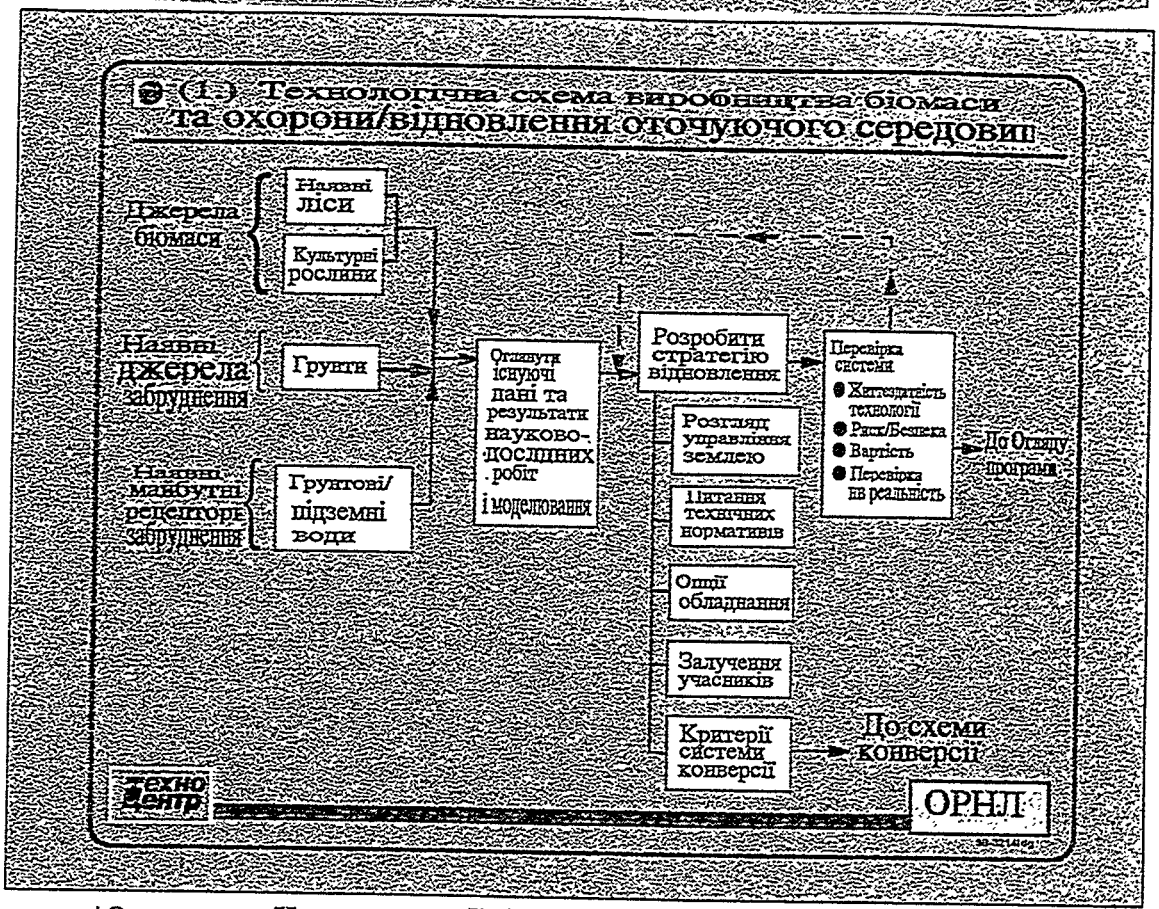
- Результати:
  - Розробити дійовий план для всіх фаз: експерименту, прототипу і програми в цілому
  - Визначити та розробити стратегії для:
    - проблем оточуючого середовища і здоров"я
    - проблем нормативів і ліцензувань
    - головних технічних проблем

ТехноЦентр

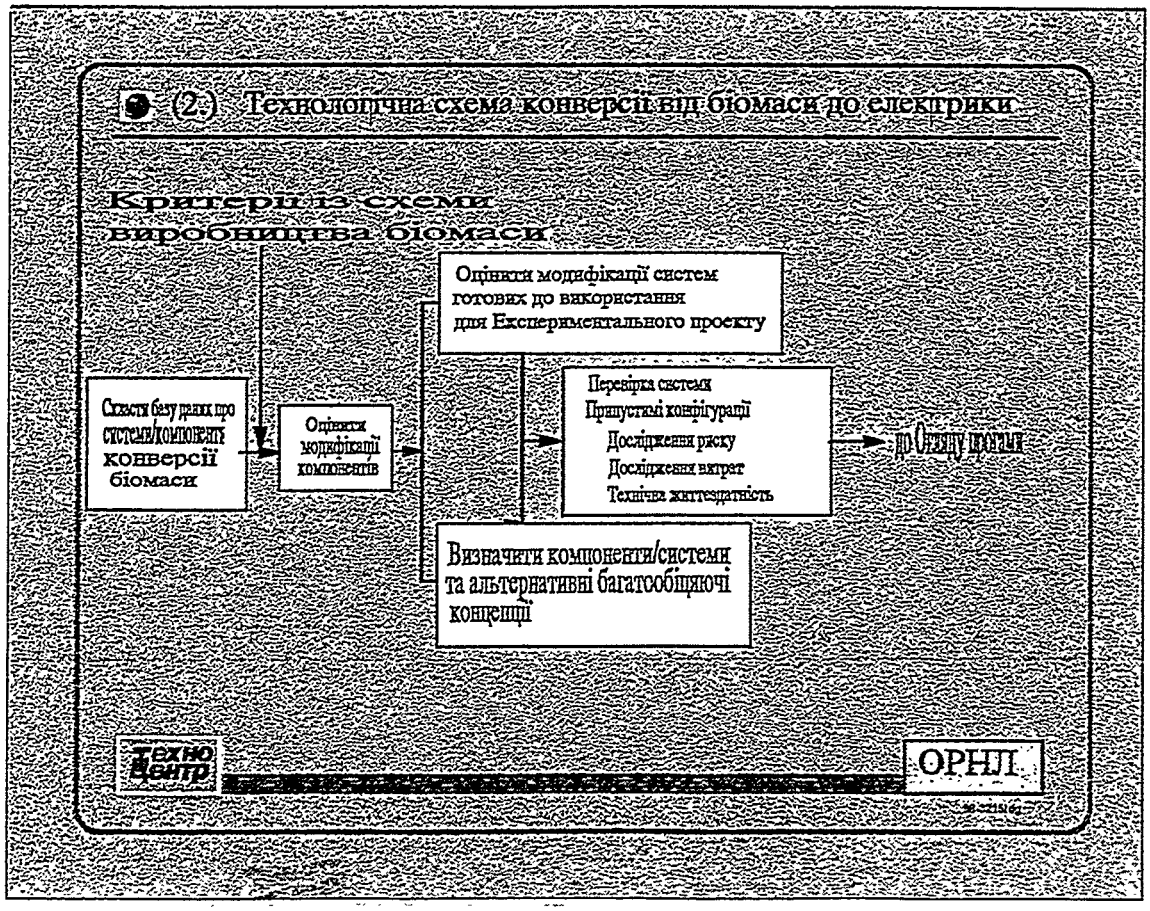
ОРНЛ

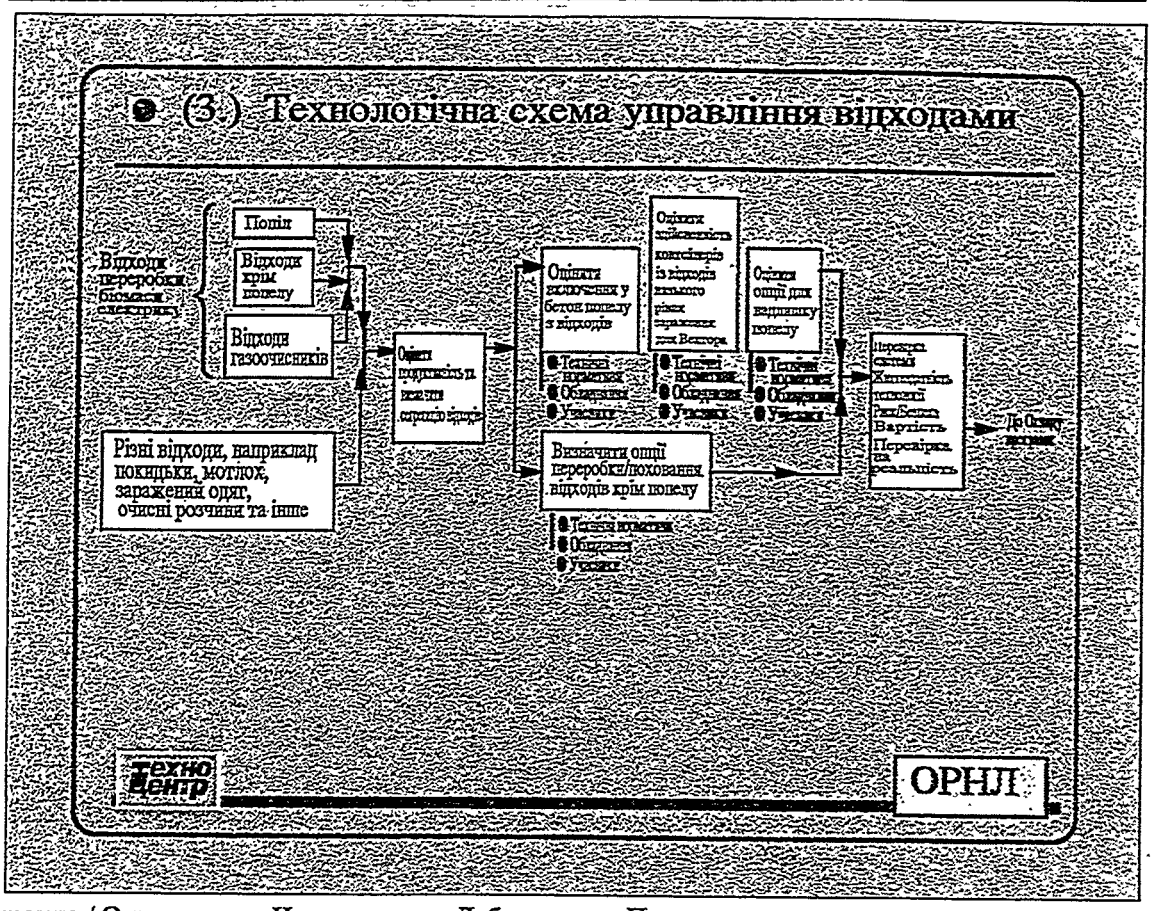
Украина / Окриджская Национальная Лаборатория, Программа по поверхностному загрязнению в Чернобыльской Зоне отчуждения
В. Токаревксий, Джордж Коурвилл





Украина / Окриджская Национальная Лаборатория, Программа по поверхностному загрязнению в Чернобыльской Зоне отчуждения
В. Токаревксий, Джордж Коурвилл





Украина / Окриджская Национальная Лаборатория, Программа по поверхностному загрязнению в Чернобыльской Зоне отчуждения

В. Токаревксий, Джордж Коурвилл

Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities Near Chornobyl

Ron Chesser
Savannah River Ecology Laboratory, Aiken, South Carolina

ABSTRACT

Scientists from the Savannah River Ecology Laboratory have collaborated with experts from the Ukraine for environmental monitoring and radioecology studies in the Chornobyl region since 1992. Research has focused on science and technology issues relevant to the nuclear energy industries of both the United States and the Ukraine. Recent work has focused on mammalian communities because 1) mammals are the most radiosensitive class of animals, 2) mammals at Chornobyl have the highest internal concentrations of cesium than any "natural" populations studied thus far, and 3) mammals are good models of potential risks to humans if exposed to similar environments. The highest concentrations of cesium are found in the Red Forest Woodlands, 2 km WSW of Reactor Four. The average cesium concentration per animal was 2.4 μCuries (330 Becquerels) per gram of muscle tissue. Daily dose estimates from internal sources of cesium range from 1 to 60 milliGray per day, with an average of 8 milliGray per day. Cesium concentrations in the Red Forest are estimated as 1,200 Curies per square kilometer. The adjacent Grassland is estimated at 630 Ci/km^2. Areas near the reactor, but to the south and east, have much lower cesium levels (estimates of 5 and 10 Ci/km^2 at sites 2 km East of the Reactor and at Chistogalovka, respectively). Regions 30 km East of the Reactor have only about 0.5 Ci/km^2. Mutation rates are low despite the high doses of radiation. Effects from all mutations found thus far can be compensated by the organisms. However, reproduction in an area of the Red Forest Woodlands is very low (1.5%) when compared to populations 30 km East (40%). Cesium concentrations in organisms and in soil are highly variable over short geographic distances. Highly precise mapping of radionuclide concentrations are needed to adequately characterize distributions in biomass as well as in abiotic portions of the Chornobyl Zone.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Радиационная экология и положение дел с биологическими воздействиями в Чернобыльской Зоне отчуждения

Рон Чессер
Экологическая Лаборатория Саванна–Ривер, Айкен, штат Южная Каролина

ВЫДЕРЖКИ

Ученые из Экологической Лаборатории Саванна–Ривер сотрудничали со специалистами из Украины в исследованиях по контролю за состоянием окружающей среды и радиационной экологии в Чернобыльском регионе с 1992 года. Исследования фокусировались на научных и технологических вопросах, относящихся к атомной энергетике как Соединенных Штатов Америки, так и Украины. Недавняя работа концентрировалась на зооценозах млекопитающих поскольку 1) млекопитающие представляют собой наиболее чувствительный к воздействию радиации класс животных, 2) млекопитающие в Чернобыле имеют наиболее высокую внутреннюю концентрацию цезия, чем любая другая изученная до сегодняшнего дня «естественная» популяция и 3) млекопитающие представляют хорошую модель потенциального риска для людей, если те подвергаются воздействию схожих условий окружающей среды. Наиболее высокие концентрации цезия обнаружены в лесистой местности, носящей название Рыжего Леса, в 2 км к ЗСЗ от четвертого реактора. Средняя концентрация цезия на одного животного составляла 2,4 микрокюри и 330 беккерель на грамм мышечной ткани. Ежедневная доза облучения, получаемая от внутренних источников цезия, составляет ориентировочно от 1 до 60 миллигрэй в день со средним значением 8 миллигрэй в день. Концентрация цезия в Рыжем Лесу оценивается в 1.200 кюри на квадратный километр. Прилегающие луга имеют концентрацию ориентировочно 630 Ки/км^2. Территории вокруг реактора, но лежащие к югу и востоку, имеют значительно более низкие уровни цезия (ориентировочно 5 и 10 Ки/км^2 в местах в 2 км к востоку от реактора и в Чистоголовке, в соответствующем порядке). Регионы в 30 км к востоку от реактора имеют только 0,5 Ки/км^2. Частота мутаций низка, несмотря на высокие дозы радиации. Эффекты от всех обнаруженных до сего дня мутаций могут быть компенсированы организмами. Вместе с тем, уровень размножения в области Рыжего Леса очень низок (1,5%) по сравнению с популяциями в 30 км к востоку (40%). Концентрации цезия в организмах и в почве широко варьируют в пределах коротких географических расстояний. Для адекватного определения характеристик распределения в биомассе и в абиотической части Чернобыльской Зоны необходимо проведение чрезвычайно точного картографирования концентраций радионуклидов.

Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities near Chornobyl

Ronald K. Chesser
University of Georgia/ Savannah River Ecology Laboratory

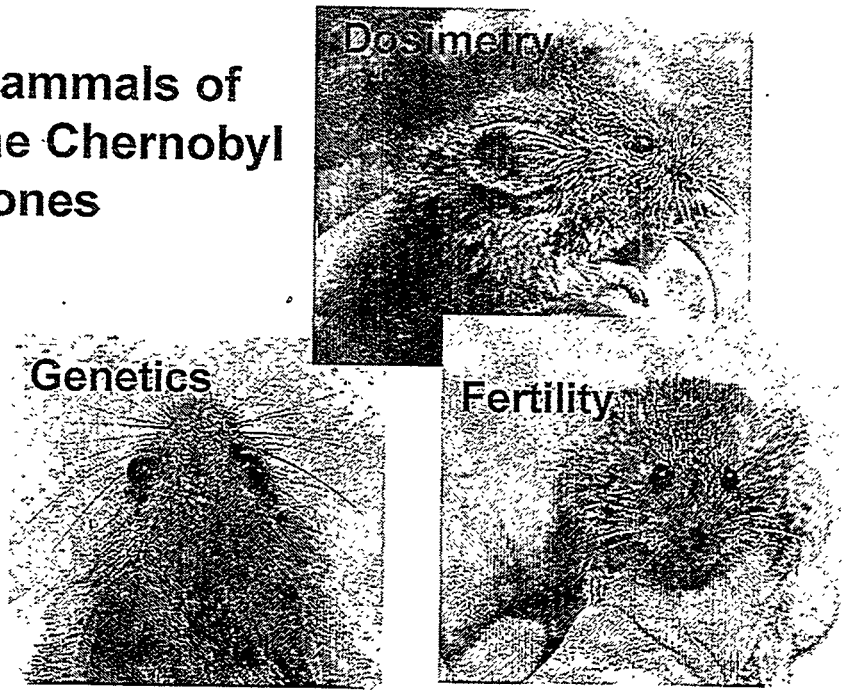
Conclusions

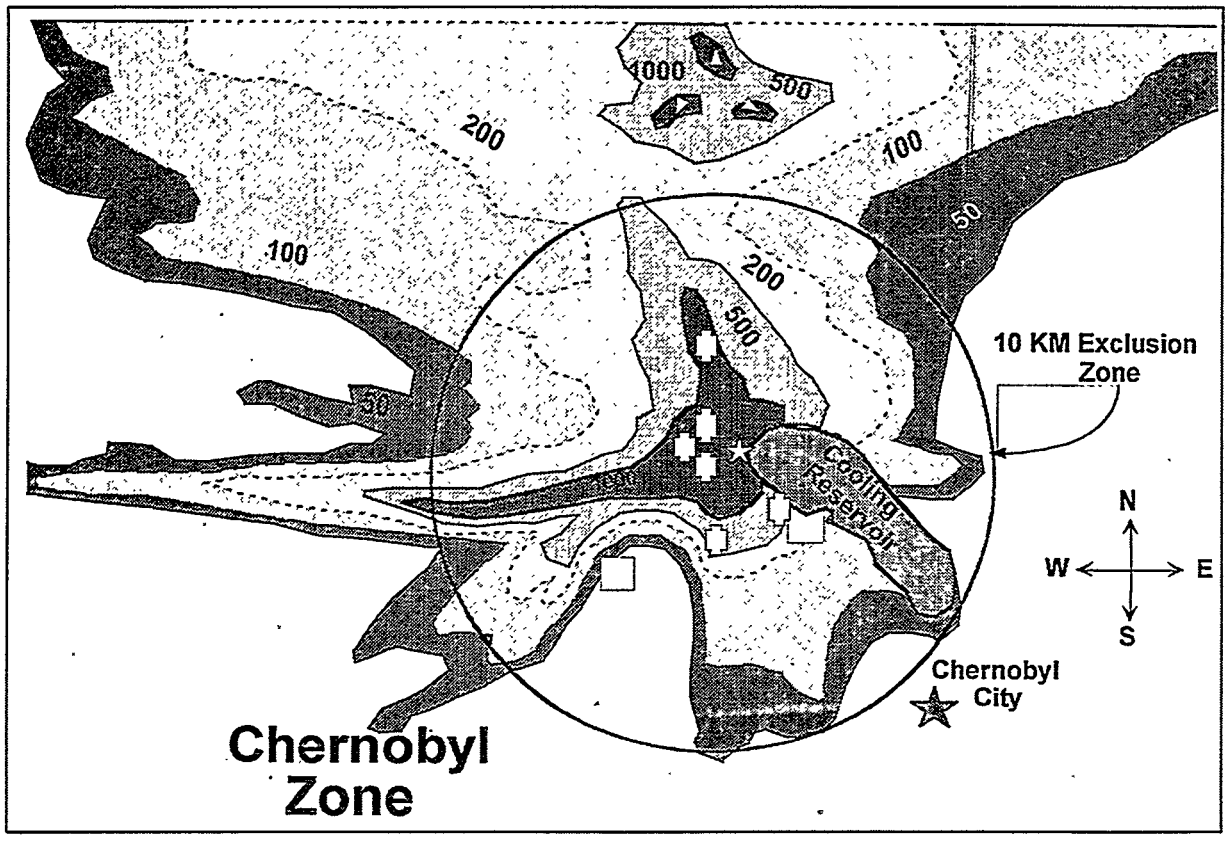
- Cesium inventories are highly variable within and among regions in 10 km Zone
- Precise mapping is needed to realistically characterize radionuclide distributions
- Dose rates to mammals are often extreme, far exceeding proposed DOE regulations
- Biological effects are negligible except in isolated regions.

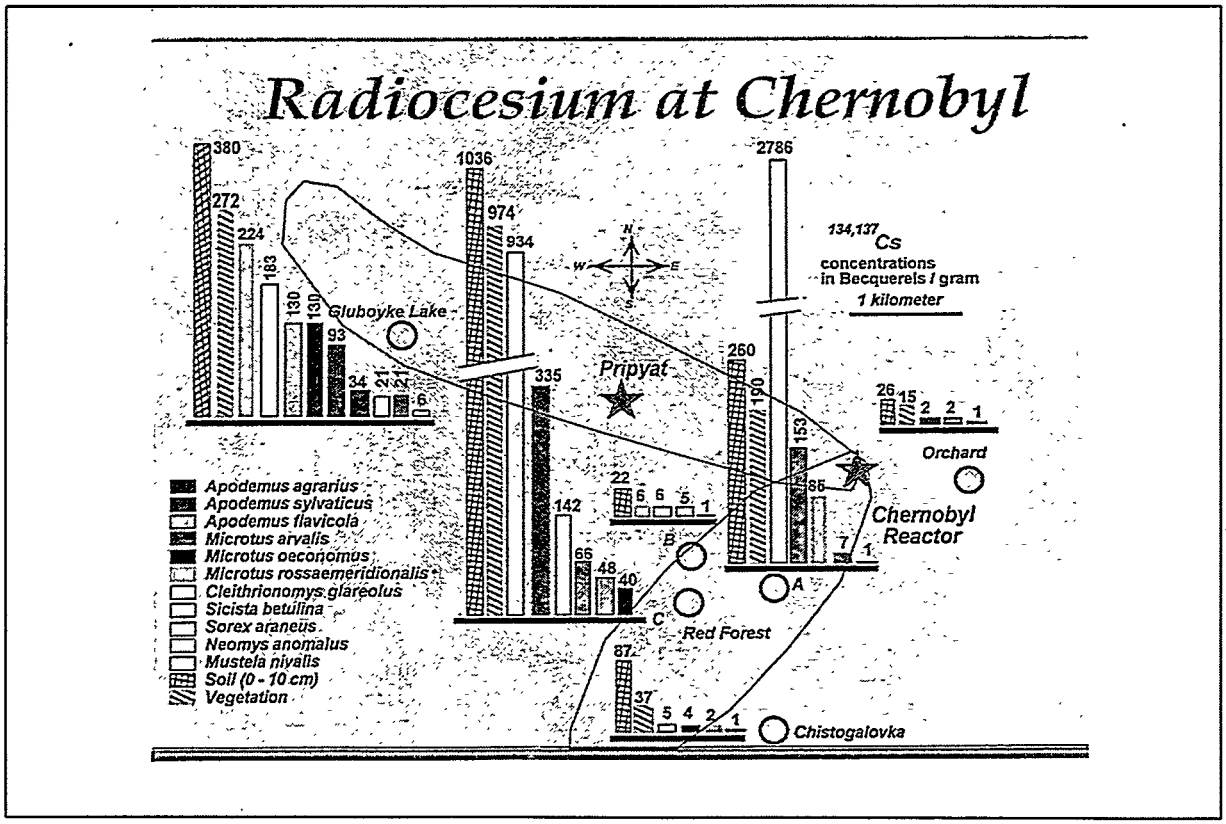
Radioecology Biological Endpoints of Radiation

- Molecular Changes
- Organelle Effects
- Cellular Responses
- Organismal Effects
- Population Responses
- Community Effects

Mammals of the Chernobyl Zones







Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities Near Chornobyl

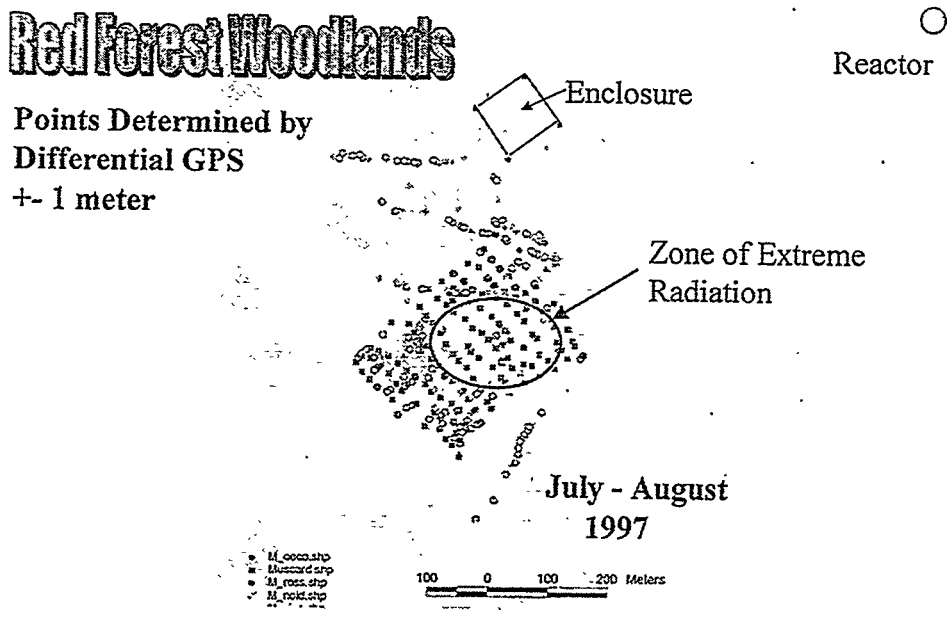
Ronald K. Chesser

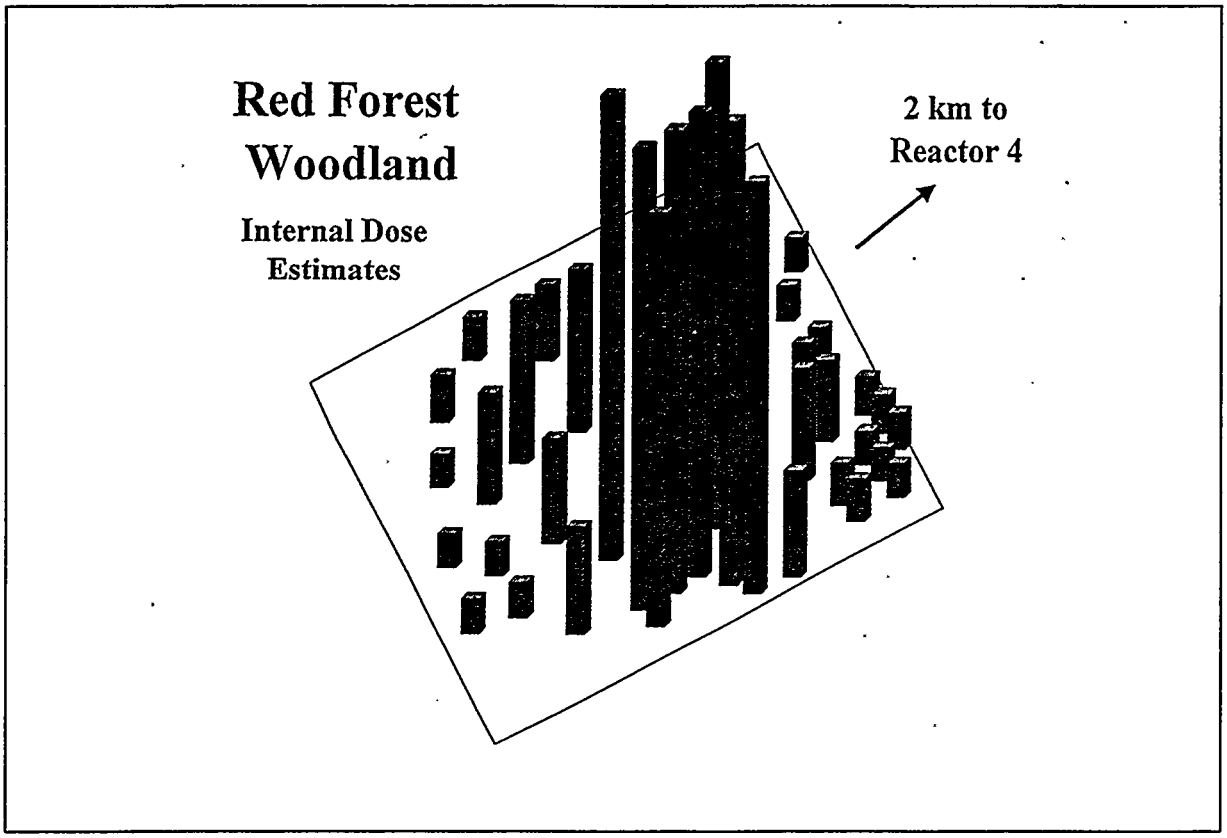
Internal Dose from Cesium

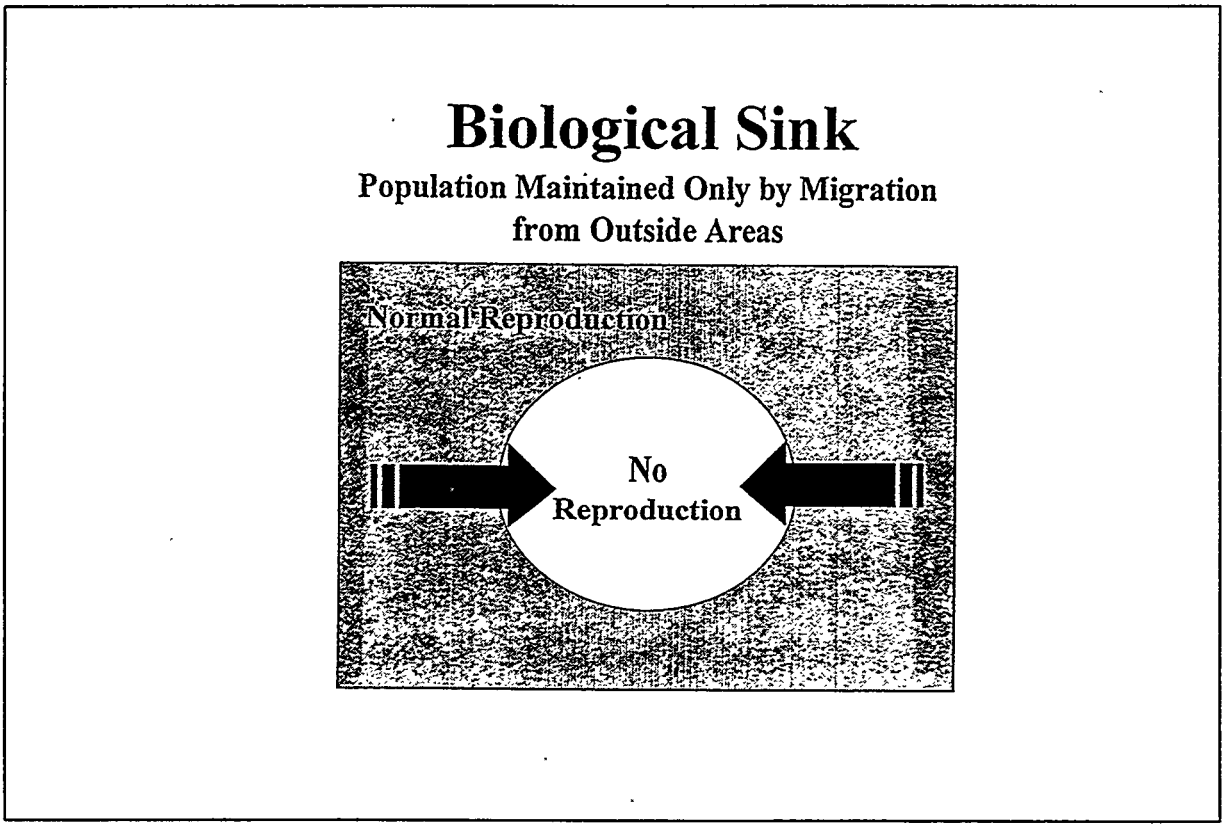
- Although Cesium is known primarily as a gamma emitter, virtually all of the dose imparted to a mouse is from the two Beta particles

$$Dose = \frac{Bq/g}{4}\left(\frac{1D/s}{Bq}\right)\left(\frac{.21MeV}{D}\right)\left(\frac{1.6\times10^{-6}erg}{MeV}\right)\left(\frac{8.64\times10^{4}s}{day}\right)\left(\frac{10mGy}{100erg/g}\right)$$

$$= Bq/g \otimes 7.26\times10^{-4}$$







Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities Near Chornobyl
Ronald K. Chesser

Dosimetry of Chernobyl Mammals

TLD's placed on rodents showed that external dose rates are up to 30 times those for internal dose rates due to radiocesium.

^{134,137}Cesium Inventories

Location	Cesium Per Animal	Cesium Per sq kilometer
• Red Forest Woodland	2.4 μCi	1,200 Ci / sq km
• Glyboke Lake	0.8 μCi	370 Ci / sq km
• Red Forest Grassland	0.6 μCi	630 Ci / sq km
• Chistogalovka	0.01 μCi	10 Ci / sq km
• 2.0 km East Reactor	0.01 μCi	5 Ci / sq km
• 30 km East Reactor	0.001 μCi	0.5 Ci/ sq km

Radiocesium Inventories in Forest and Grassland Communities Near Chornobyl
Ronald K. Chesser

Heteroplasmy

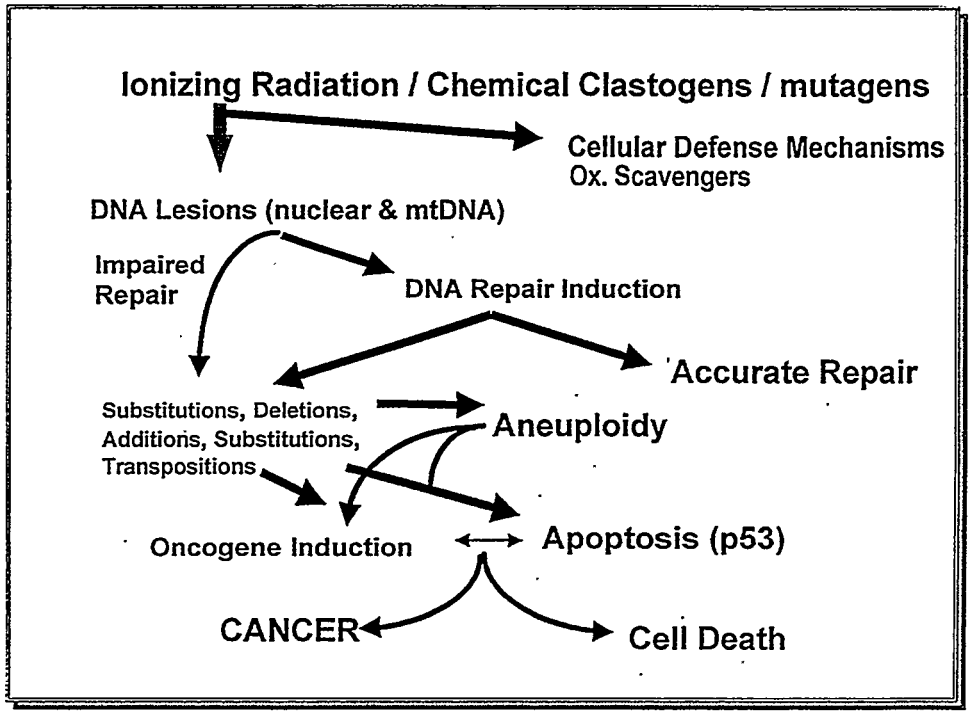
Microtus

Red Forest	mutation rate = 1 / 1,800 bases
Control Animals	mutation rate = 1 / 2,600 bases
Technical Controls	mutation rate = 1 / 3,300 bases

Fertility in the Red Forest vs Controls

PREGNANCY RATE

July 1997: Red Forest = 1.5 %
July 1997: Controls = 40.0 %



Genetic & Biological Effects

- Chromosomal Variations : NONE FOUND
- p53 Gene Variations : NONE FOUND
- Mitochondrial DNA : HETEROPLASMY
- microsatellites : SLIGHT VARIANTS
- 24 Gene Isozymes : NO DEVIATIONS
- DNA Strand Breaks : SIGNIFICANT*
- Fecundity: REDUCED IN SOME AREAS*

Radioecological Feasibility of the Project

Andrei N. Arkhipov
Chornobyl Scientific Center for International Research, Ukraine

Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Center for International Research, Ukraine

The distinctive features of the character of the Chornobyl accident (thermal blast, burning of communication lines and graphite, releases with materials used for quenching) predetermined the diversity of the forms of radioactive fall-out. Changes in the meteorological conditions of the region during this period lead to the uneven distribution of various physical and chemical forms of radionuclides released into the near zone of the Chornobyl NPP and into the so-called cesium spot zones. The imposition of these factors on the heterogeneous landscapes and the soils and agrochemical characteristics of the territory gave rise to a complex radioecological situation not easy to classify. However, the high degree of radioecological uniqueness of the territory of the Exclusion Zone was created by the presence in the fall–out of insoluble fractions of radionuclides associated with the thermal matrix and other released dispersed materials.

The most wide-spread was radionuclide contamination of ground and vegetative cover, agricultural lands and forests. Radioactive contamination of vast territories caused an ecological situation unprecedented in terms of complexity, the leading role in which are played by radiation and hygiene aspects, and also by changes associated with the absence of man and the cessation of agricultural activities.

A unique combination of technogenic features of the Chornobyl accident and natural conditions on the territory of the Chornobyl Exclusion Zone was formed, which created the possibility and feasibility of conducting large-scale multi-variant studies in real life conditions in a very wide range of areas of applied radioecology, agroradiology, radiobiology and medicine, radiation monitoring, handling of radwastes, and the recultivation and rehabilitation of the land and natural objects.

System of Radioecological Studies of the Exclusion Zone and Evaluation of Methods for Its Rehabilitation

The system of radioecological observations is tasked with the acquisition and analysis of information on the basis of which administrative decisions on the use of territories may be adopted. This system has several levels:

- **acquisition and analysis of primary information,** which entails the creation of data bases, the integration of results of analysis into GIS, the evaluation of processes of migration of radionuclides in ecosystems, the radiobiological and general ecological consequences on ecosystems, and the study of systems of land tenure.
- **analysis of feasibility and methods of use of contaminated lands** which examines several scenarios - the zone as a sanctuary, agricultural land use, timber industry, the use of the territory as a range for scientific studies and tests of special equipment, and the use of special plants to reduce the amount of radioactive substances in the soils. Of course, these scenarios are not mutually exclusive but complement one another.
- **economic estimates** first and foremost are based on a comparison of costs of the scenarios with the use of protective counter–measures and scenarios with conventional technologies.
- **GIS** analysis and risk assessment are the basis for decisions adopted.

Territorial Characteristics of the Chornobyl Zone

The surface of the Chornobyl Exclusion Zone, according to 1997 borders, constitutes slightly more than 2,000 km^2. Prior to the accident, artificial and natural agrocenosis occupied as much as 80% of the territory of the 30-km zone. Of this, 36% was forest area, dry farming occupied 27.5%, and meadows and grassy swampland occupied 18%. Approximately 10% of the territory was occupied by lands under development. Artificial reservoirs occupy a relatively large surface area, 2.8%.

Within ten years after the accident, the structure of the land had changed: land area covered by forest increased 12 - 13%. Territory under use by various technical facilities, roads, etc., increased somewhat. The contemporary state of the land structure is indicated in Table 1.

Table 1. Land Structure of the Exclusion Zone

Land Category	%
Land covered by forest	48.5
- coniferous	38.6
- deciduous	9.9
Land not covered by forest	33.3
- burnt lands	3.5
- cleared lands	0.3
- fallow lands, meadows (former agricultural)	29.5
Other woodlands	1.1
Swamps, sand plains	2.6
Water objects	8.5
- including cooling ponds	1.2
Populated areas, roads, etc.	6.0
TOTAL:	100.0

Radioecological Characteristics of the Exclusion Zone

The zone surrounding the Chornobyl NPP has been contaminated with ^{137}Cs with a density greater than 15 and with ^{90}Sr above 2 Curie/km^2. In addition, fuel plutonium, levels of fall–out of which along the periphery of the zone constitute approximately 0.1 Curie/km^2, is dispersed in this zone.

The maximum levels of contamination in direct proximity to the Chornobyl NPP reach 1,000 - 1,500 for ^{137}Cs, 600 - 800 for ^{90}Sr, and 2 - 3 Curie/km^2 for $^{239-240}Pu$, respectively.

At this time, there is more than 21 million Curies of radioactivity in the territory of the Exclusion Zone, including 20 million Curies at "Shelter," 380,000 Curies at PVLRO, PZRO, 250,000 Curies in the territory (of this, 129,000 Curies in the form of ^{90}Sr, 120,000 Curies in the form of ^{137}Cs, and approximately 1,000 Curies in the form of $^{239-240}Pu$), 4,500 Curies in the cooling pond, and in the time immediately following the accident, infusible short-life and medium-life $^{141, 144}Ce$, ^{95}Zr, and ^{95}Nb, which for the most part also created the exposure dose.

In the near zone, in areas with surface distribution of ^{90}Sr, ground waters have been contaminated up to concentrations of 10-20 Bq/liter, and in areas of surface disposition of radwastes, their contamination reaches the following values: for ^{90}Sr up to 43,000 Bq/liter, for ^{137}Cs up to 0.4 Bq/liter, and for $^{239+240}Pu$ up to 0.6 Bq/liter. The time it will take for contaminated ground waters to run off from the area of localization of PVLRO into the Pripyat River is estimated at more than 50 years. A moving front of elevated concentrations of ^{90}Sr from 10^{-6} to 10^{-8} Curies/liter has been observed from several PVLRO burial trenches down–river at a distance

greater than 25 meters. The total run–off of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Pripyat River outside the Exclusion Zone is approximately 90 and 60 Curies/year, respectively.

Migration of Radionuclides in the Soil - Vegetation System

The vertical migration of radionuclides in the soils leads to their redistribution in the root layer of the soil and simultaneously with physical and chemical processes changes the amount of radionuclides accessible for absorption by the vegetation. In meadow and forest ecosystems, the speed and nature of migration processes differ significantly. The primary factors affecting processes of migration are soil type, its physical and chemical characteristics, and also the level of moisture of the territory. A two–component convection–diffusion model of distribution of radionuclides over the soil profile has been developed to estimate intensity of migration (Table 2).

Table 2. Parameters of the Model of Migration of ^{137}Cs in Soils of the Exclusion Zone

Soil, water regime	d, fast-migrating fraction	D1, cm^2/yr	D2, cm^2/yr	V1, slow–migrating	V2, fast–migrating
soddy–podzolic, dry meadow	0.45	0.09521	0.04577	0.00941	0.27283
soddy–podzolic, steppe meadow	0.31	0.0233	0.25033	0.06025	0.08663
soddy–podzolic, green meadow	0.38	0.05927	0.14874	0.01752	0.36925
soddy–podzolic, moist meadow	0.31	0.07603	0.16733	0.08766	0.14075
humus–clay, swamp–meadow	0.86	0.15998	0.17132	0.02307	0.11812
humus–clay, wet–meadow	0.50	0.03748	0.11127	0.02743	0.21496
peat–clay, wet–meadow	0.36	0.30961	0.00684	0.06838	0.06838

The data cited here indicates that in soils of the hydromorphic layer, the intensity of migration processes is higher than in soils of the automorphic layer. The primary migration of radionuclides occurs through fast–migrating fractions, both through the mechanism of quasi–diffusion, and through convective transfer. Organogenic soils—peat and humus-clay spoils—occupy a special place. Migration of radionuclides, both in the composition of the slow-migrating fraction and in the fast-migrating fraction, is characteristic for these soils. The character of the moisture defines the character of the distribution of radionuclides. All of this makes it possible to predict the arrival of ^{137}Cs in the vegetation and to assess the feasibility of their use in agriculture.

Observations of the distribution of radionuclides in forest soils have shown that to date (11 years after the explosion) the primary deposit of radionuclides in soils of conifer plantings is the forest floor. The maximum content is in the humus horizon (AoH). In deciduous stands, the primary stock of ^{137}Cs is in the first layer of the mineral component of the soil (Figures 1 and 2).

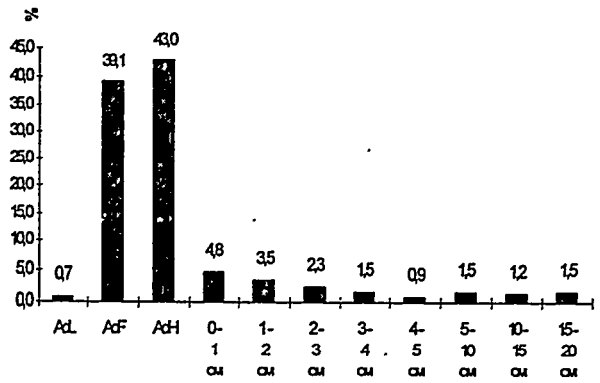


Figure 1. Distribution of ^{137}Cs in Coniferous Soils

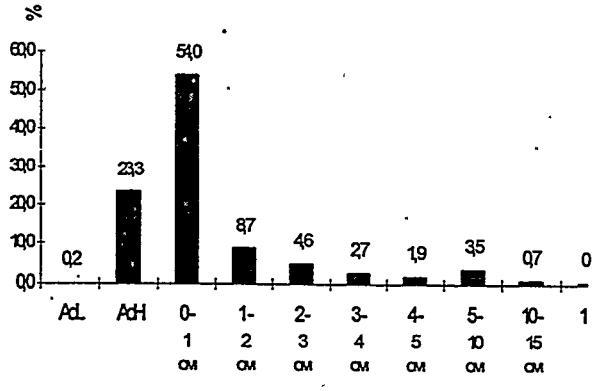


Figure 2. Distribution of ^{137}Cs in Birch Soils

The Effect of Biological Features

The values of conversion factors in fallow land with waste grass varies in the range of 0.2 to 0.4 and virtually coincides with these characteristics for dry meadows. For swamp–grass meadows, this characteristic is in the range of 2.5 to 14.1.

A very important feature describing migration of radionuclides in meadow cenoses is the release of radionuclides into the ground biomass. This characteristic is very important in its use for vegetative groups, since it makes it possible to assess their capability to introduce radionuclides into the biological life cycle in the form of feed (Figure 3). These grass groups of meadows and fallow lands topologically are distributed thus: agropyron and agropyron–reed grass families are dominant in relatively poor, often arid, soils; sedge–grass, mixed grass–sedge and sedge–rush families are distributed in various lowlands. The difference in intensity of release is defined not only by the ability of the vegetation to store radionuclides to a greater or lesser degree, but also by the biomass in different layers of fauna.

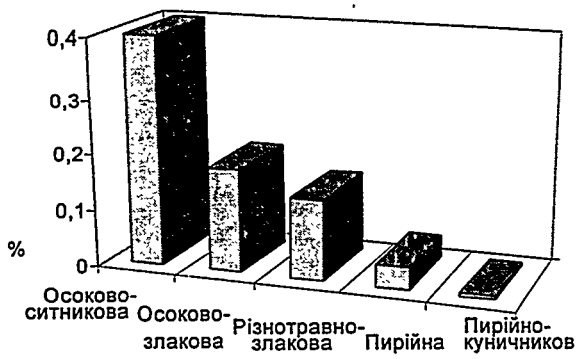


Figure 3. Removal of ^{137}Cs by Meadow Families in % of Total Stock in Soils

Prediction

To predict contamination of vegetation, years of data have been gathered on the conversion factors of ^{137}Cs in grasses of meadows of different types in the territory of the Exclusion Zone. An analysis of this data indicates that for the first level of grouping of data, it is sufficient to use such base soil–landscape characteristics as the granulometric composition and degree of moisture (type of meadow, type of growing conditions), which makes it possible for soils in the 30–km Exclusion Zone, represented by 608 soil-landscapes, to divided into 14 groups for average values of conversion factors of ^{137}Cs (see Table 3). On the basis of these data, the radioecological danger was estimated for different lands, which made it possible to obtain and standardize the radioecological situation in the territory of the Exclusion Zone (Figure 4).

Table 3. Grouping of Soils of the Exclusion Zone by Degree of Biological Accessibility of ^{137}Cs

Group	Granulometric composition of soils	Type of meadow	Averaged Conversion Factor, Bq/kg/kBq/m^2
1	heavy loam	arid	0.5
2	light loam, moderate loam	arid	2.9
3	sandy loam	arid	4.2
4	sandy	arid	4.6
5	light loam, moderate loam	lowland	4.6
6	sandy	lowland	5.4
7	sandy loam	lowland	5.4
8	light loam, moderate loam	tidal	6.3
9	sandy loam	tidal	6.7
10	sandy	tidal	7.1
11	turf	lowland	8.9
12	sandy loam	swampy	12.0
13	sandy	swampy	15.0
14	turf	swampy	29.2

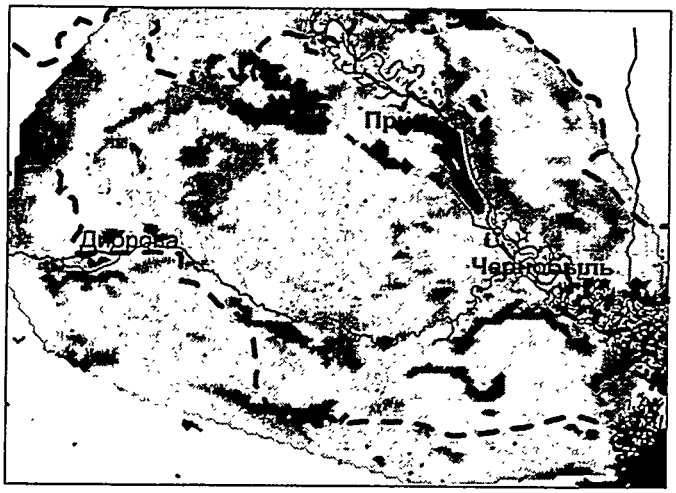


Figure 4. Standardized Radioecological Characteristics of the Territory of the Exclusion Zone

This schematic map depicts the level of contamination of meadow vegetation with ^{137}Cs in the even of the uniform contamination of the territory of the Exclusion Zone. The intensity of the coloring in this map represents an increase in the Conversion Factor.

The next step is the construction of a complex standardized characteristic of the territory of the Exclusion Zone, considering the distinctive features of the intake of radionuclides in forest and meadow vegetation. Preliminary information, making it possible to do this, is the already provided cartographic zoning of the territory referring to forest and meadow biocenoses.

Probable designs for agricultural use of the territory, subject to technogenic contamination, may be analyzed in order to determine the direction of the primary use in forestry or agriculture, or their complete removal from agricultural use. The assessment of radioecological risk makes it possible to avoid the adoption of unfounded solutions in the rehabilitation of the territory subjected to radioactive contamination, which prevents the unsubstantiated investment of funds and prevents excessively optimistic opinions on the rehabilitation of radioactively contaminated lands.

Estimate of Biomass and Radionuclides in Them

Estimates conducted considering the system of zoning of the territory according to levels of ecological and forestry maintenance are cited in Table 4.

Table 4. Estimates of the State of Bioresources in the Exclusion Zone

	Zone of Routine Ecological and Forestry Operations	Zone of Restricted Ecological and Forestry Operations	Future Sanctuary Area
Surface area of forested territory, %	34.2	29.4	36.3
Surface area of meadows and fallow, %	39.2	34.6	26.1
Biomass of timber (1000 tons)	2630	2260	2790
Biomass of conifers (1000 tons)	240	200	250
Biomass of grass (1000 tons)	130	110	80
^{137}Cs in the territory, Tbk	80	150	1700
^{137}Cs in timber, Tbk	2.9	8.8	46
^{137}Cs in conifers, Tbk	2.7	7.8	42
^{137}Cs in grass, Tbk	0.096	0.29	0.89
^{90}Sr in the territory, Tbk	29	70	1200
^{90}Sr in timber, Tbk	2.2	6.3	39
^{90}Sr in conifers, Tbk	0.40	1.1	6.9
^{90}Sr in grass, Tbk	0.14	0.41	1.5

An analysis of biomass data as a potential source of energy and raw resources indicates that actual stocks of timber are higher on an order of one than other biological components of the phytomass. Considering the cooling property of dry timber, its stocks are equivalent to the energy of 150 PJ. The overall distribution of the biomass between regions with differing regime

of land tenure is in principle identical, which illustrates the feasibility of organizing the use of resources for each zone individually.

In analyzing the removal of radionuclides by the photomass, it should be borne in mind that their stocks in coniferous needles, especially radioactive strontium, are equal to, or exceed, the stocks in the timber. Therefore, the surface phytomass must be completely treated. Biomass of grass are significantly lower; however, this resource is renewable annually with a high conversion factor.

Predictive models show that in the very near term, there will be no fundamental changes in the contamination of forest and grass vegetation with ^{137}Cs. The content of ^{90}Sr will continue to grow.

The characterization of bioresources and the radioecological situation makes it possible to make a conclusion as to the feasibility of the development of this project, since the amount of biomass is sufficient to satisfy the energy demands of the Exclusion Zone and to turn it from energy consumption to energy production (an ecologically clean product).

The reclamation in the fuel–energy cycle of radioactively contaminated vegetation biomass, produced by the territory of the Exclusion Zone, provides a break in the biological cycle of the radionuclides and, thereby, facilitates the reduction in the effective period of the semi–treated medium.

Определение характеристик загрязнений в Чернобыльской Зоне отчуждения

Радиоэкологическое обоснование возможности выполнения проекта

Андрей Н. Архипов
Чернобыльский Научный Центр по международным исследованиям, Украина

Николай Д. Кучма
Чернобыльский Научный Центр по международным исследованиям

Особенности характера Чернобыльской аварии (тепловой взрыв, горение коммуникаций и графита, выбросы с материалами использованными для тушения) предопределили разнообразие форм радиоактивных выпадений. Изменения метеоусловий района в этот период привели к неравномерному распределению разных физико-химических форм радионуклидов, выброшенных на территорию ближней зоны ЧАЭС и в зоны так называемых цезиевых пятен. Наложение указанных факторов на неоднородные ландшафтные и почвенно-агрохимические характеристики территории обусловили сложную, трудно классифицируемую радиоэкологическую ситуацию. Однако наибольшую радиоэкологическую уникальность территории зоны отчуждения создало наличие в выпадениях малорастворимой фракции радионуклидов, связанных с топливной матрицей и другими выброшенными диспергированными материалами.

Наиболее масштабным явилось загрязнение радионуклидами почвенно-растительного покрова, сельскохозяйственных угодий и лесов. Радиоактивное загрязнение огромных территорий создало беспрецендентную по сложности экологическую ситуацию, ведущую роль в которой играют радиационно-гигиенические аспекты, а также изменения вызванные отсутствием человека и прекращением хозяйственной деятельности.

Сформировалось уникальное сочетание техногенных особенностей чернобыльской аварии и природных условий на территории Чернобыльской зоны отчуждения, что создало возможность и целесообразность проведения широкомасштабных многовариантных исследований в реальных условиях по самым разнообразным направлениям прикладной радиоэкологии, сельхозрадиологии, радиобиологии и медицины, радиационного мониторинга, обращения с радиоактивными отходами, рекультивации и реабилитации земель и природных объектов.

Система радиоэкологических исследований зоны отчуждения и оценка путей ее реаблитации

Система радиоэкологических наблюдений имеет предназначением сбор и анализ информации, на основе чего могут приниматься административные решения по использованию территориями. Эта система имеет несколько уровней:

- **сбор первичной информации и ее анализ**, что включает в себя создание баз данных, интеграцию результатов анализа в ГИС, оценку процессов миграции радионуклидов в экосистемах, радиобиологические и общеэкологические последствия в экосистемах, изучение систем землепользования

- **анализ возможности и путей использования загрязненных земель:** который рассматривает несколько сценариев - зона как заповедник, сельскохозяйственное использование земель, лесопроизводственное, использование территории как полигона для научных исследований и испытаний специализированной техники, и использование специальных растений для уменьшения количества радиоактивных веществ в почвах, естественно, что указанные сценарии не взаимоисключающие, а взаимодополняющие.
- **экономические оценки** в первую очередь основываются на сравнении стоимости сценариев с использованием защитных контрмер и сценариев с обычными технологиями.
- ГИС - анализ, оценка рисков, являются базой для **принятия решений.**

Территориальные характеристики Чернобыльской зоны

Общая площадь территории Чернобыльской зоны отчуждения согласно границ 1997 года составляет чуть более 2000 км^2. До аварии искусственные и естественные агроценозы занимали до 80 % территории 30-км зоны. Из них леса составляли 36%, богарные агроценозы - 27,5%, луга и травяные болота - 18%. Около 10% территории занимали мелиорированные земли. Относительно большую площадь занимали искусственные водоемы - 2,8%.

Через десять лет после аварии структура земель изменилась: площадь земель, покрытых лесом увеличилась на 12-13%. В несколько раз увеличилась территория, отчуждённая под различные технические сооружения, дороги и т.д. Современное состояние структуры земель показано в табл. 1.

Таблица 1. Структура земель зоны отчуждения

Категория земель	%
Земли, покрытые лесами	48.5
- сосновыми	38.6
- лиственными	9.9
Земли, не покрытые лесом	33.3
- горельники	3.5
- вырубки	0.3
- залежи, луга (бывшие сельхозугодья)	29.5
Другие лесные земли	1.1
Болота, пески	2.6
Водные объекты	8.5
в том числе пруд-охладитель	1.2
Населенные пункты, дороги и т.д.	6.0
Итого:	100.0

Радиологическая характеристика зоны отчуждения

Окружающая ЧАЭС зона загрязнена ^{137}Cs с плотностью более 15 и ^{90}Sr свыше 3 Ки/км^2. Кроме того в этой зоне был диспергирован топливный плутоний, уровни выпадений которого по периферии зоны составляют около 0.1 Ки/км^2 .

Максимальные уровни загрязнения в непосредственной близости от ЧАЭС достигают по ^{137}Cs 1000-1500, по ^{90}Sr - 600-800 и по $^{239-240}Pu$ - 2-3 Ки/км^2 соответственно.

В настоящее время на территории зоны отчуждения находится более 21 млн.Ки радиоактивности , в том числе 20 млн Ки - "Укрытие", 380 тыс ПВЛРО,ПЗРО, 250 тыс Ки - территория (из них 129 тыс Ки - ^{90}Sr, 120 тыс- ^{137}Cs, около 1000 Ки $^{239-240}Pu$), 4.5 тыс Ки -- водоем-охладитель, а в первое время после аварии - тугоплавких короткоживущих и среднеживущих $^{141,144}Ce$, ^{95}Zr и ^{95}Nb, которые в основном и создавали экспозиционную дозу.

В ближней зоне на участках с поверхностным распределением ^{90}Sr грунтовые воды загрязнены до концентраций 10-20 Бк/л, а в районах приповерхностных захоронений РАО их загрязнение достигает значений: по ^{90}Sr до 43000 Бк/л, по ^{137}Cs – до 0.4 Бк/л, по $^{239+240}Pu$ – до 0.6 Бк/л; Время возможного выхода загрязненных грунтовых вод из района локализации ПВЛРО в реку Припять оценивается более, чем в 50 лет. От некоторых траншейных захоронений ПВЛРО наблюдается движущийся фронт повышенной концентрации ^{90}Sr от 10^{-6} до 10^{-8} Ки/л по направлению линий тока на расстоянии более 25 метров. Общий вынос ^{90}Sr и ^{137}Cs с водным потоком р.Припять за пределы зоны отчуждения составляет около 90 и 60 Ки/год соответственно.

Миграция радионуклидов в системе почва-растение

Вертикальная миграция радионуклидов в почвах приводит к их перераспределению в корнеобитаемом слое грунта и одновременно с физико-химическими процессами изменяют количество радионуклидов, доступных для поглощения растениями. В луговых и лесных экосистемах скорость и характер миграционных процессов значительно различаются. Основными факторами влияющими на процессы миграции являются тип почвы, его

Таблица 2. Параметры модели миграции ^{137}Cs в грунтах Зоны отчуждения

Почва, водный режим	d, доля быстромигрирующей фракции	D1 , см2/год	D2, см2/год	V1, см/год - медленномигрирующая	V2 , см/рік - быстромигрирующая
дерново-слабоподзолистая, сухо-луговый	0.45	0.09521	0.04577	0.00941	0.27283
дерново-слабоподолистая, лугово-степной	0.31	0.0233	0.25033	0.06025	0.08663
дерново-слабоподзолистая, сырой-луговый	0.38	0.05927	0.14874	0.01752	0.36925
дерново-слабоподзолистая, увлажненно-луговый	0.31	0.07603	0.16733	0.08766	0.14075
перегнойно-глеевый, болотно-луговый	0.86	0.15998	0.17132	0.02307	0.11812
перегнойно-глеевий, мокро-луговый	0.50	0.03748	0.11127	0.02743	0.21496
торфяно-глеевий, мокро-луговый	0.36	0.30961	0.00684	0.06838	0.06838

физико-химические характеристики, а так же уровень увлажнения территории. Для количественной оценки интенсивности миграции разработана двухкомпонентная конвективно-диффузионная модель распределения радионуклидов по почвенному профилю (табл.2).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в почвах гидроморфного ряда интенсивность миграционных процессов выше, чем в почвах автоморфного ряда. Основной перенос радионуклидов происходит за счет быстромигрирующих фракций как по механизму квазидиффузии, так и конвективного переноса. Отдельное место занимают органогенные почвы - торфяные и перегнойно-глеевые. Для них характерна миграция радионуклидов как в составе медленно-мигрирующей фракции, так и в составе быстро-мигрирующей фракции. Характер увлажнения определяет характер распределения радионуклидов. Все это позволяет составить прогноз поступления ^{137}Cs в растительность и оценить возможность их использования в хозяйственных целях.

Режимные наблюдения на стационарах за распределением радионуклидов в лесных почвах показали, что до настоящего времени (11 лет после выброса) основным депо радионуклидов в почвах хвойных насаждений является лесная подстилка, при этом максимальное содержание приходится на гумусированный горизонт (АоН). В лиственных древостоях основной запас ^{137}Cs находится в 0-1 см слое минеральной части почвы. (рис. 1,2).

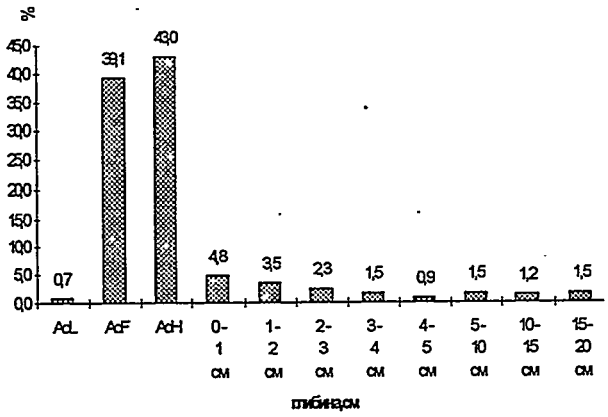


Рисунок 1. Распределение ^{137}Cs в почвах сосновых насаждений

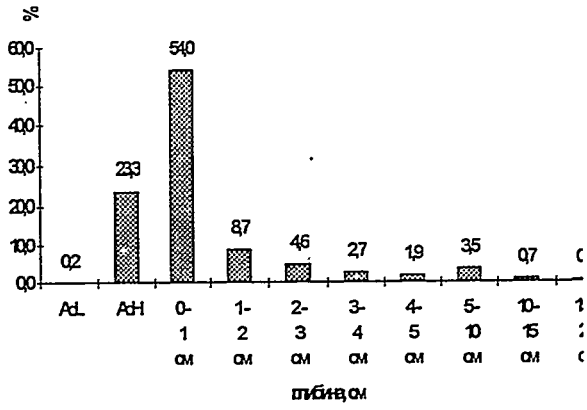


Рисунок 2. Разпределение ^{137}Cs в почвах березовых насаждений

Влияние биологических особенностей

Значения коэффициентов перехода (КП) на залежах с пустошным травостоем изменяется в пределах 0.2-0.4 и практически совпадает с этими показателями для суходольных лугов. Для болотно-злаковых лугов этот показатель находится в пределах 2.5-14.1

Очень важным показателем описывающим миграцию радионуклидов в луговых ценозах является вынос радионуклидов в наземную биомассу. Особенно важен этот показатель при его использовании для растительных группировок, поскольку позволяет оценивать их способность вводить радионуклиды в биологический круговорот в виде корма (рис 3.). Приведенные травянистые группировки лугов и залежей топологично имеют такое распространение: пырейные и пырейно-вейниковые группировки преобладают на относительно бедных, часто с дефицитом влаги почвах; осоко-злаковые, разнотравно-злаковые и осоково-ситниковые группировки распространены в разнообразных понижениях. Различие в интенсивности выноса определяется не только способностью растений накапливать радионуклиды в большей или меньшей степени, но и запасом биомассы в различных условиях произрастания.

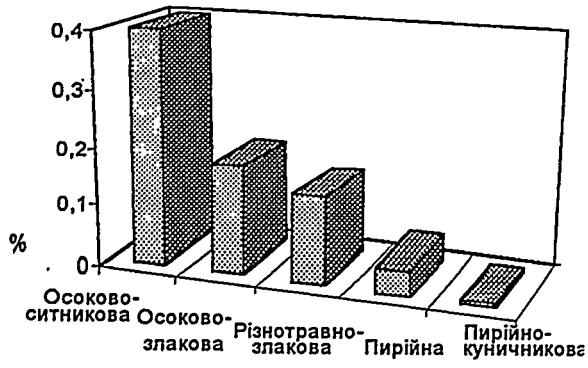


Рисунок 3. Вынос ^{137}Cs луговыми группировками в % от общего запаса в почвах

Прогнозирование

Для прогнозирования загрязнения растительности обобщены многолетние данные по коэффициентам переходов ^{137}Cs в травостой лугов различных типов территории зоны отчуждения. Анализ этих данных показывает, что для первого уровня группировки данных достаточно использовать такие базовые почвенно-ландшафтные показатели, как гранулометрический состав и степень увлажнения (тип луга, тип лесорастительных условий), что позволяет почвы 30-км зоны отчуждения, представленные 608 почвенно-ландшафтными разбить на 14 групп по усредненным значениям коэффициентов перехода ^{137}Cs (Табл. 3).

Таблица 3. Группировка почв зоны отчуждения по степени биологической доступности ^{137}Cs

№ группы	Гранулометрический состав почв	Тип луга	Усредненный КП, Бк/кг/кБк/м^2
1	тяжелосуглинистые	суходольный	0,5
2	легкосуглинистые, среднесуглинистые	суходольный	2,9
3	супесчаные	суходольный	4,2
4	песчаные	суходольный	4,6
5	легкосуглинистые, среднесуглинистые	низинный	4,6
6	песчаные	низинный	5,4
7	супесчаные	низинный	5,4
8	легкосуглинистые, среднесуглинистые	пойменный	6,3
9	супесчаные	пойменный	6,7
10	песчаные	пойменный	7,1
11	торфянистые	низинный	8,9
12	супесчаные	болотный	12,0
13	песчаные	болотный	15,0
14	торфянистые	болотный	29,2

На основе данных проведена оценка радиоэкологической опасности различных угодий, что позволило получить нормировать радиоэкологическую обстановку на территории зоны отчуждения (Рис 4.).

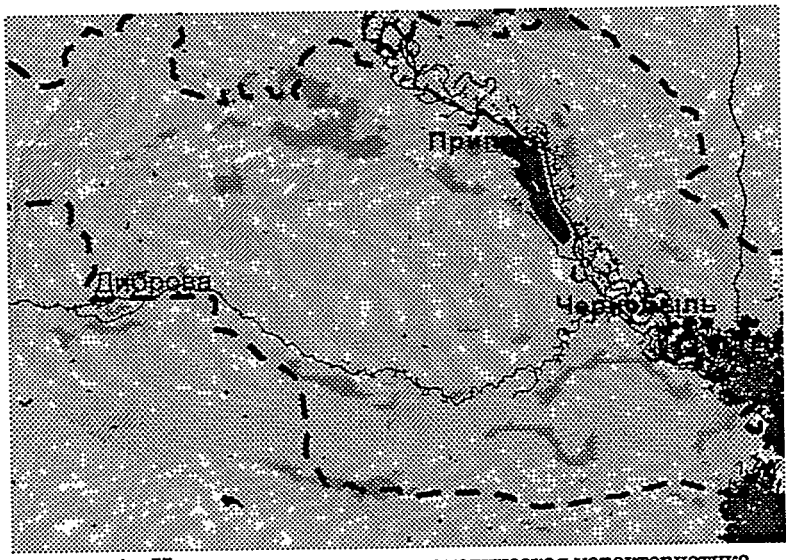


Рисунок 4 - Нормированная радиоэкологическая характеристика территории зоны отчуждения

Эта карто-схема представляет уровень загрязнения луговой растительности ^{137}Cs в случае равномерного загрязнения территории зоны отчуждения. Усиление интенсивности окраски на данной картограмме соответствует увеличению КП.

Следующим шагом является построение комплексной нормированной характеристики территории зоны отчуждения, учитывающей особенности поступления радионуклидов в лесные и луговые растения. Предварительной информацией, позволяющей это сделать, является уже сделанное картографическое зонирование территорий, относящихся к лесным и луговым биоценозам.

Можно анализировать вероятные схемы хозяйственного использования территорий, подвергшихся техногенному загрязнению, с целью определения направления их преимущественного использования в лесном или сельском хозяйстве, или полного выведения из хозяйственного использования. При этом оценка радиологического риска позволяет избежать принятия необоснованных решений по реабилитации территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, что предотвращает необоснованное вложение средств и препятствует возникновению излишне оптимистических мнений относительно реабилитации радиоактивно загрязненных земель.

Оценка запасов биомассы и радионуклидов в них

Оценочные расчеты проведенные с учетом разработанной системы районирования территории по уровням эколого-лесоводственного ухода приведены в таблице 4.

Таблица 4. Оценки состояния биоресурсов зоны отчуждения

	Зона обычного проведения эколого-лесо-водственных мероприятий	Зона ограниченного проведения эколого-лесо-водственных мероприятий	Зона заповедного (в перспективе) режима
Площадь залесенной территории, %	34,2	29,4	36,3
Площадь лугов и залежей, %	39,2	34,6	26,1
Запас биомассы древесины (тыс.т)	2630	2260	2790
Запас биомассы хвои (тыс.т)	240	200	250
Запас биомассы травостоя (тыс.т)	130	110	80
Запас ^{137}Cs на территории, ТБк	80	150	1700
Запас ^{137}Cs в древесине, ТБк	2.9	8.8	46
Запас ^{137}Cs в хвое, ТБк	2.7	7.8	42
Запас ^{137}Cs в травостое, ТБк	0.096	0.29	0.89
Запас ^{90}Sr на территории	29	70	1200
Запас ^{90}Sr в древесине, ТБк	2.2	6.3	39
Запас ^{90}Sr в хвое, ТБк	0.40	1.1	6.9
Запас ^{90}Sr в травостое, ТБк	0.14	0.41	1.5

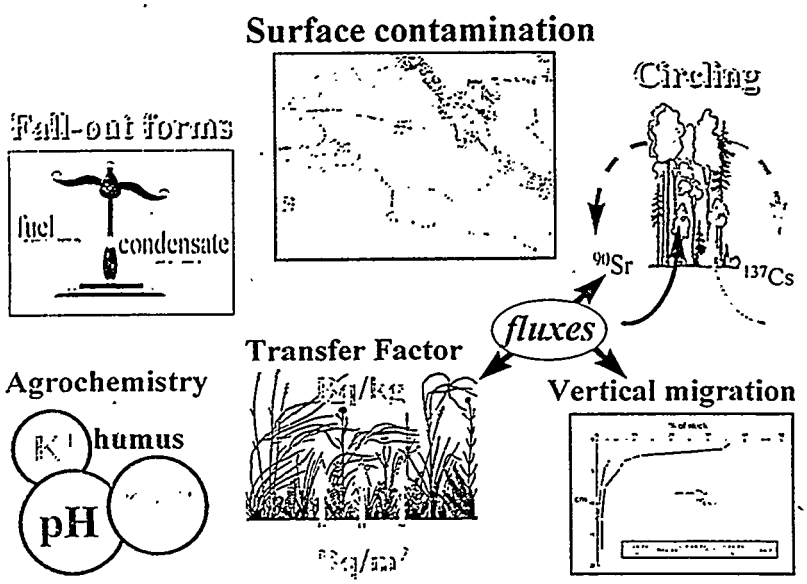
Анализ данных запасов биомассы как потенциального источника энергетических и сырьевых ресурсов показывает, что реальные запасы древесины на порядок выше, чем других биологических компонентов фитомассы. Учитывая теплотворную способность сухой древесины ее запасы эквивалентны энергии 150 ПДж. Общее распределение биомассы между районами с различным режимом землепользования в принципе одинаковое, что свидетельствует о возможности организации использования ресурсов для отдельно каждой зоны.

Анализируя вынос радионуклидов фитомассой, следует учитывать, что их запасы в хвое, особенно радиостронция, равны или превышают запасы в древесине. Поэтому следует предусмотреть полную переработку надземной фитомассы. Запасы биомассы травостоя значительно ниже, однако это ежегодно возобновляемый ресурс с высоким КП.

Прогнозные модели показывают, что в ближайшее время принципиальных изменений в загрязнении лесной и травянистой растительности ^{137}Cs не будет. Содержание ^{90}Sr продолжает возрастать.

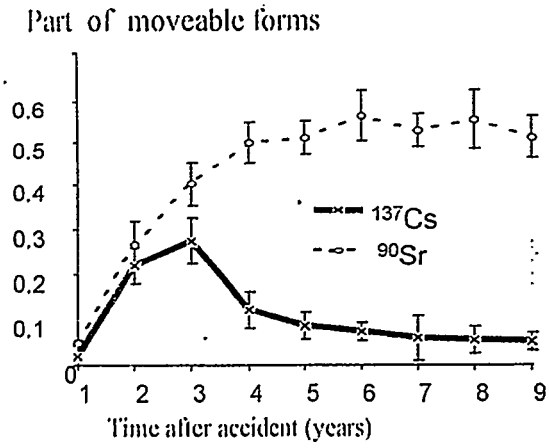
Проведенная характеризация биоресурсов и радиоэкологической ситуации в Чернобыльской зоне отчуждения и их анализ этой информации позволяет сделать вывод о целесообразности развития данного Проекта, поскольку количество биомассы является достаточным для удовлетворения энергопотребностей зоны отчуждения и превращения ее из потребителя энергии в производителя энергии (экологически чистого продукта).

Утилизация в топливном-энергетическом цикле радиоактивно загрязненной растительной биомассы, продуцируемой территорией Зоны отчуждения, обеспечивает разрыв биологического цикла радионуклидов и, тем самым, способствует сокращению эффективного периода полуочищения среды.

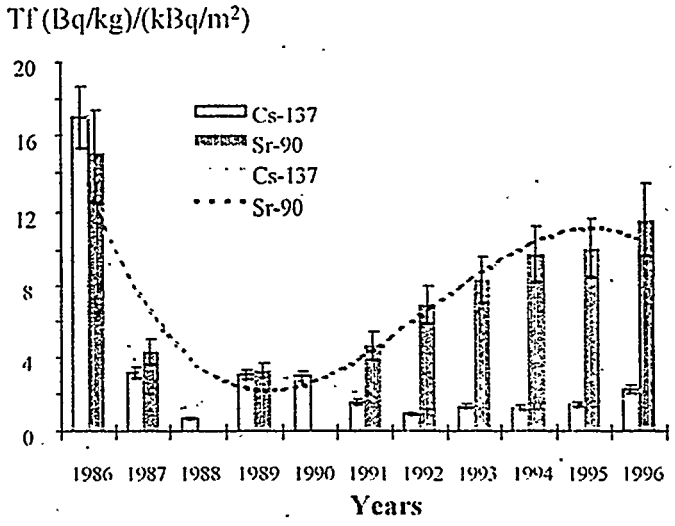


Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Dynamics of moveable form contents in soddy-podsolyc soil



Dynamics of meadow plants contamination by ^{90}Sr и ^{137}Cs

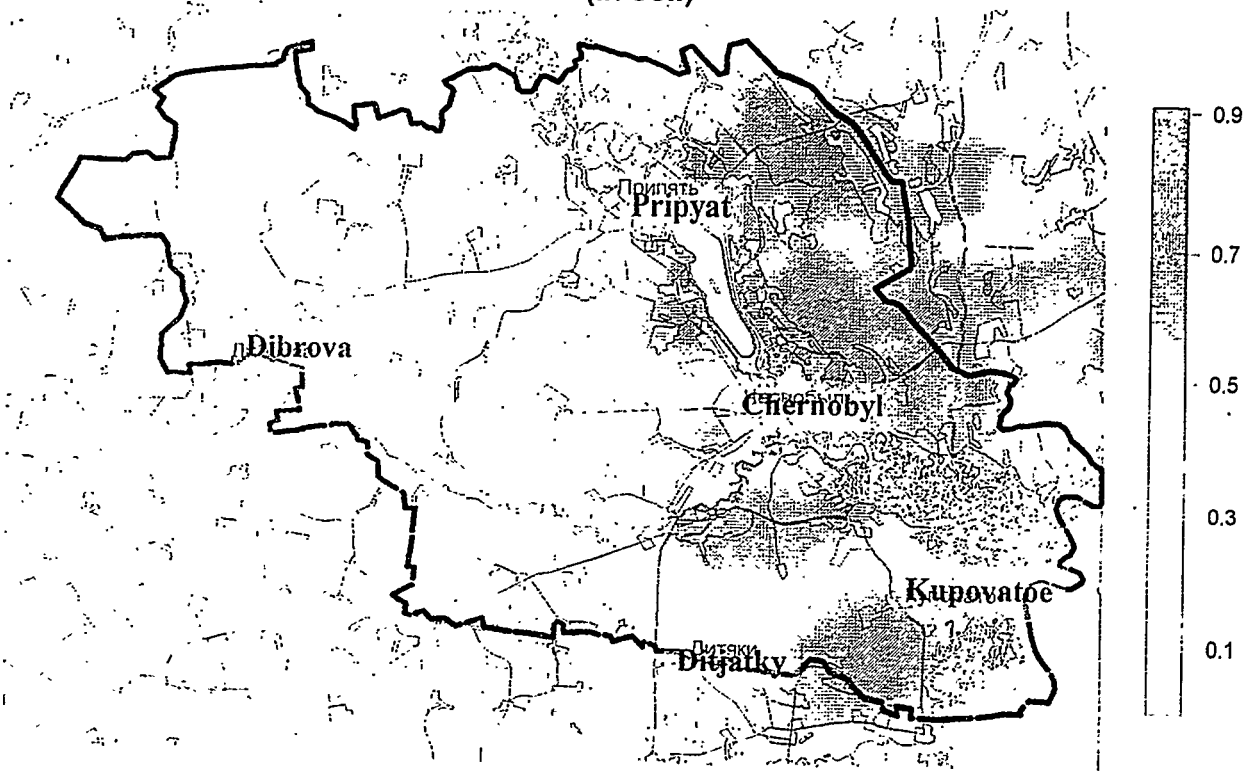


Radioecological Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Scheme of fuel-particles distribution (through K_f)

$$K_f = \frac{^{137}Cs/^{144}Ce \text{ (in particles)}}{^{137}Cs/^{144}Ce \text{ (in soil)}}$$



Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Fire influence on redistribution of ^{137}Cs in forest soil

Fire type	% burnt litter	Radioactivity distribution, %	
		litter	soil
Control	0	60 - 80	20 - 40
Low	10 - 30	60 - 70	30 - 40
Transitive	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Crown	45 - 80	20 - 40	60 - 80

Influence of injure of tree stand on ^{137}Cs redistribution in soil

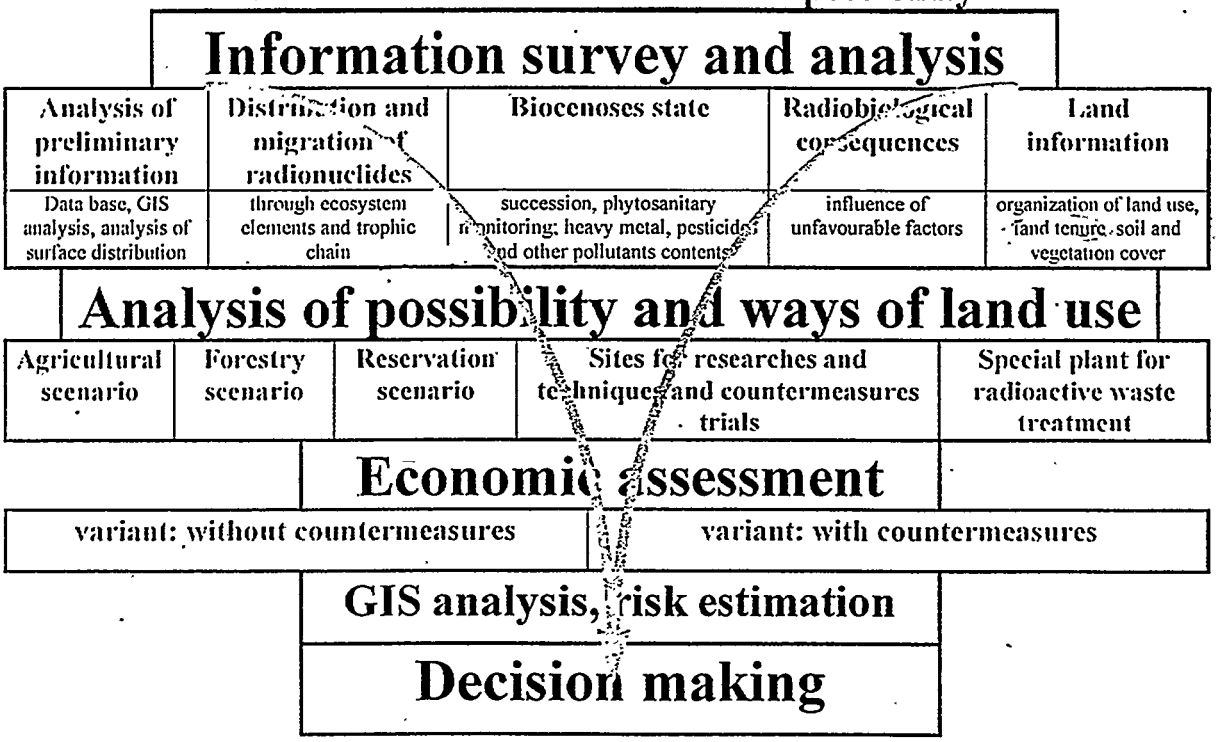
State of tree stand	Radioactivity distribution, %	
	litter	soil
Control	65	35
Injured	40	60
Died	15	85

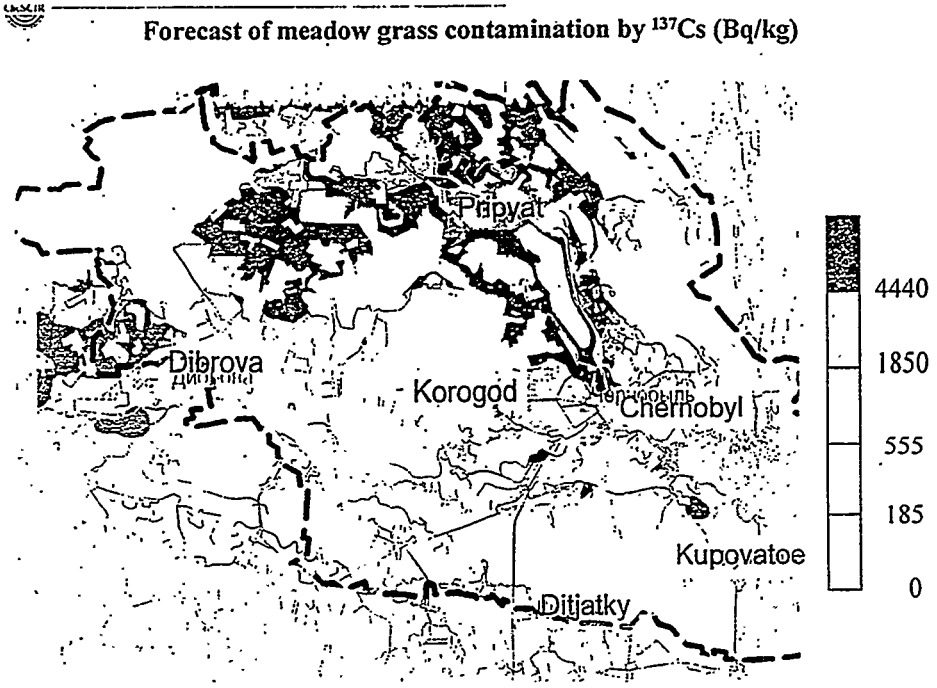
Radioecological Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

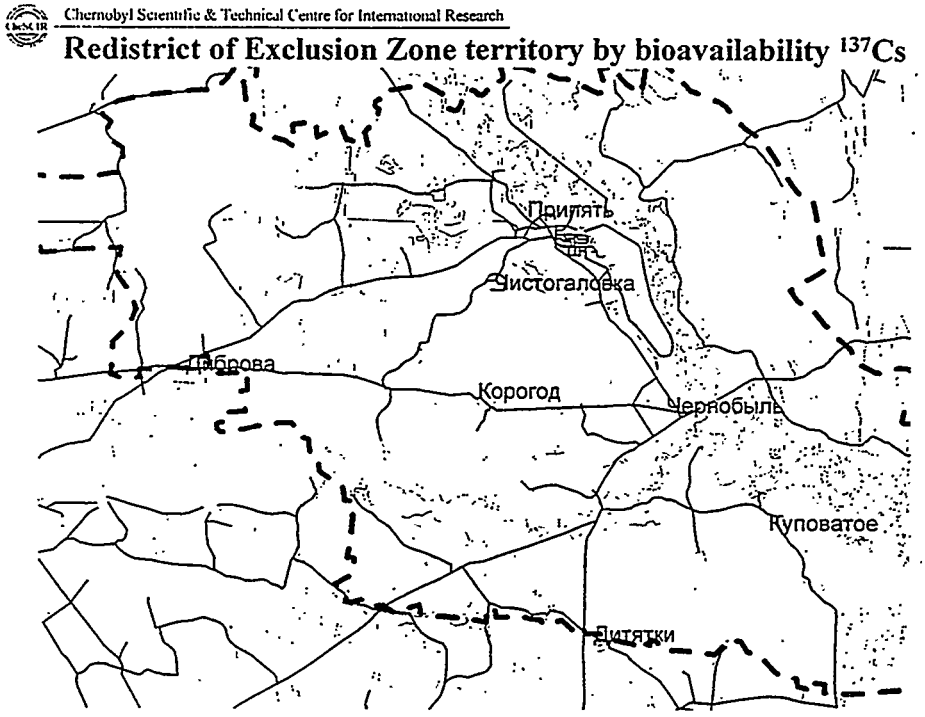
Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Radioecology of the Chernobyl exclusion zone

and assessment of rehabilitation possibility

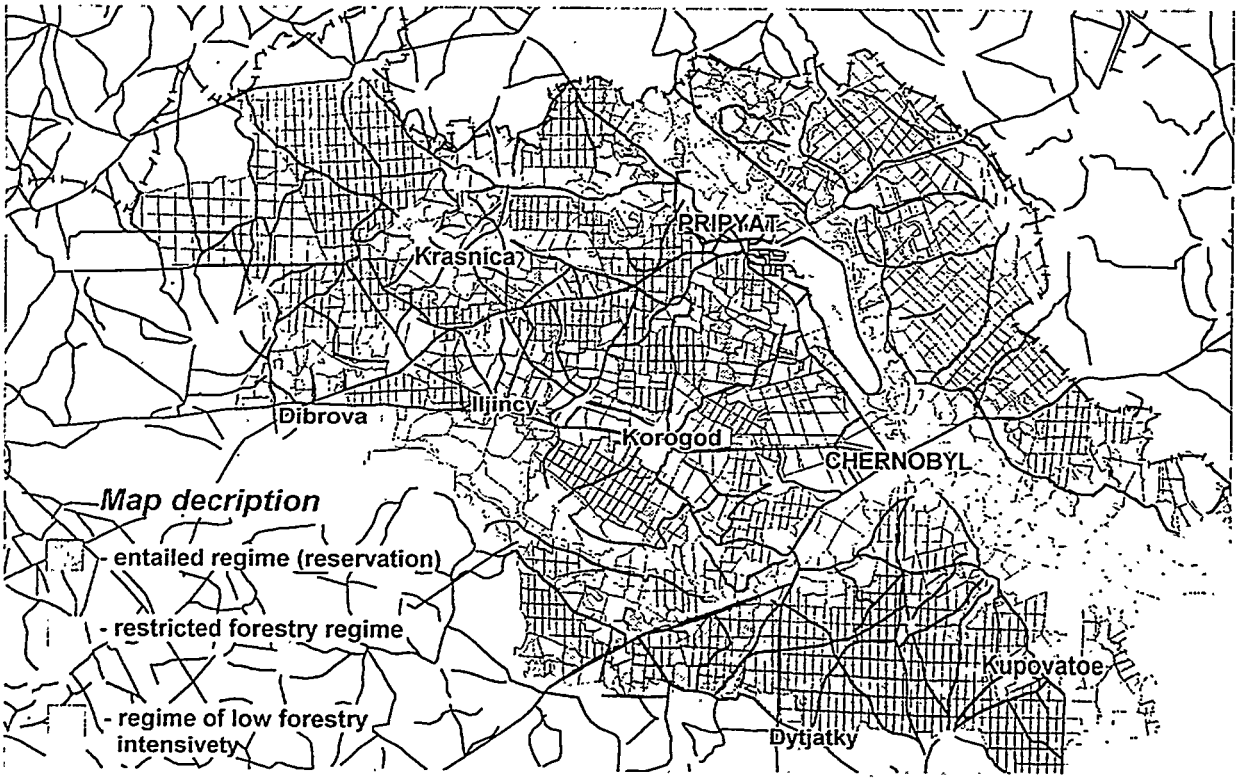



Forecast of meadow grass contamination by 137Cs (Bq/kg)
Pripyat
Dibrova
Korogod
Chernobyl
Kupovatoe
Ditjatky
4440
1850
555
185
0


Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research
Redistrict of Exclusion Zone territory by bioavailability 137Cs
Припять
Чистогалоўка
Дыброва
Корогод
Чернобыль
Куповатое
Дитятки

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Schematical map of Exclusion Zone, redistricted by ecology-forestry regime



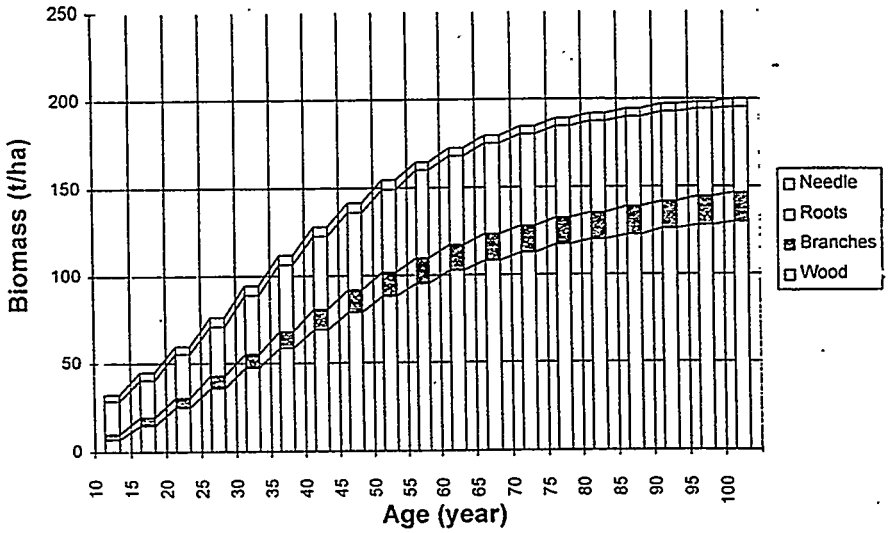
Radioecological Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Grouping of Chernobyl NPP exclusion zone soils by degree of biological availability

	Granulometric composition	Meadow type	Mean Tf, Bq/kg/KBq/m^2
1	sandy	dry	4,6
2	loamy sand	dry	4,2
3	light loamy, middle loamy	dry	2,9
4	heavy loamy	dry	0,5
5	sandy	lowland (wet)	5,4
6	loamy sand	lowland (wet)	5,4
7	light loamy, middle loamy	lowland (wet)	4,6
8	peaty	lowland (wet)	8,9
9	sandy	flood plain	7,1
10	loamy sand	flood plain	6,7
11	light loamy, middle loamy	flood plain	6,3
12	peaty	low peatland	29,2
13	sandy	low peatland	15,0
14	loamy sand	low peatland	12,0

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Coniferous forests biomass dinamic



Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Evaluation of Excluzion Zone bioresources

	Entailed regime (reservation)	Restricted forestry regime	Regime of low forestry intensity
Area of territory under forest, %	34,2	29,4	36,3
Area of meadow and bed territory, %	39,2	34,6	26,1
Stock of wood biomass (thousand ton)	2600	2300	2800
Stock of needle biomass (thousand ton)	240	200	250
Stock of meadow plant biomass (thousand ton)	130	110	80
Stock of ^{137}Cs on soil, TBq	80	150	1700
Stock of ^{137}Cs in wood, TBq	2.9	8.8	46
Stock of ^{137}Cs in needls, TBq	2.7	7.8	42
Stock of ^{137}Cs in meadow plant, TBq	0.096	0.29	0.89
Stock of ^{90}Sr on soil, TBq	29	70	1200
Stock of ^{90}Sr in wood, TBq	2.2	6.3	39
Stock of ^{90}Sr in needls, TBq	0.40	1.1	6.9
Stock of ^{90}Sr in meadow plant, TBq	0.14	0.41	1.5

Grouping of Chernobyl NPP exclusion zone soils by degree of biological availability

	Granulometric composition	Meadow type	Mean Tf, Bq/kg/KBq/m^2
1	sandy	dry	4,6
2	loamy sand	dry	4,2
3	light loamy, middle loamy	dry	2,9
4	heavy loamy	dry	0,5
5	sandy	lowland (wet)	5,4
6	loamy sand	lowland (wet)	5,4
7	light loamy, middle loamy	lowland (wet)	4,6
8	peaty	lowland (wet)	8,9
9	sandy	flood plain	7,1
10	loamy sand	flood plain	6,7
11	light loamy, middle loamy	flood plain	6,3
12	peaty	low peatland	29,2
13	sandy	low peatland	15,0
14	loamy sand	low peatland	12,0

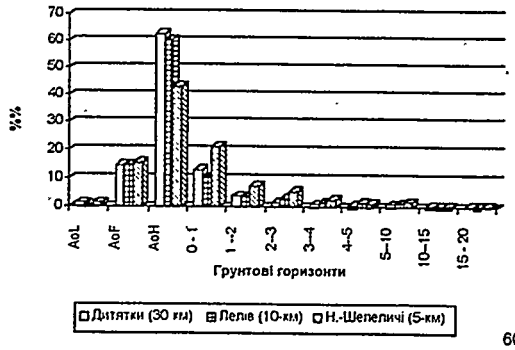
Radioecological Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Карта распределения Cs-137 на территории зоны отчуждения (Ки/км2)

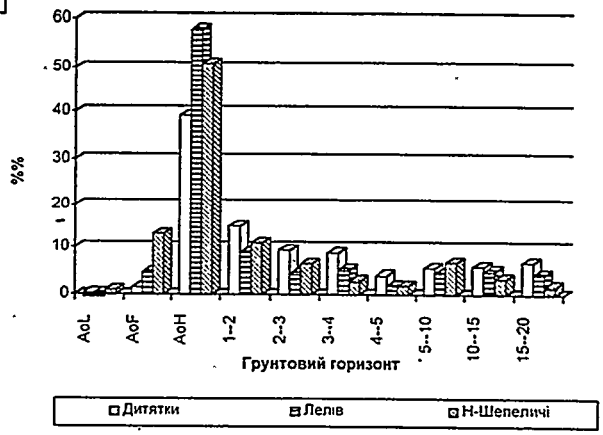
Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Distribution of Cs-137 through soil profile of coniferous forest, % of total



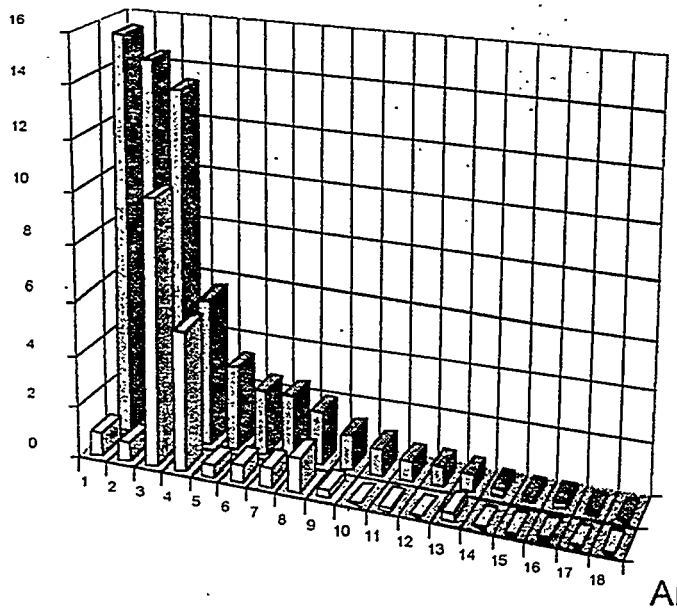
Distribution of Sr-90 through soil profile of coniferous forest, % of total



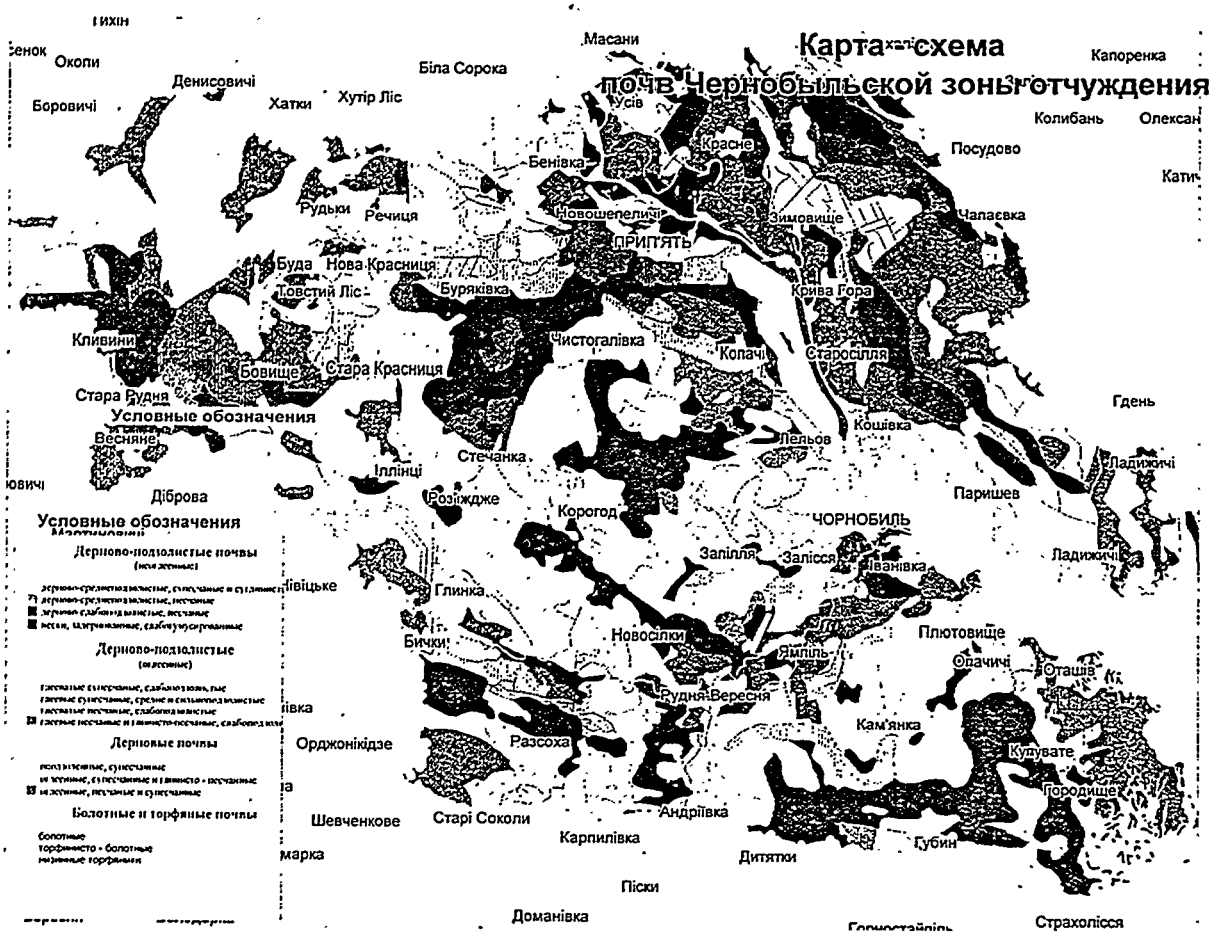
Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Comparison of role transfer factor and annual poll in meadow ecosistem



1	Дербенниковые Lytraceae
2	Гречишные Poligonaceae
3	Осоковые Cyperaceae
4	Касатиковые Iridaceae
5	Ситниковые Juncaceae
6	Кипрейные Onagraceae
7	Норичниковые (Scrophulariaceae)
8	Злаковые Poaceae (Gramineae)
9	Сложносцветные Asteraceae (Cosmositae)
10	Крапивные Urticaceae
11	Бобовые Fabaceae (Leguminosae)
12	Лютиковые Ranunculaceae
13	Мареновые Rubiaceae
14	Первоцветные Primulaceae
15	Губоцветные Zamiaceae (Labiatae)
16	Молочайные Euphorbiaceae
17	Вьюнковые Convolvulaceae
18	Розоцветные Rosaceae


Карта-схема
почв Чернобыльской зоны отчуждения
Условные обозначения
Условные обозначения
Дерново-подзолистые почвы
Дерново-подзолистые
Дерновые почвы
Болотные и торфяные почвы
Масани
Біла Сорока
Усів
Красне
Бенівка
Новошепеличі
ПРИПЯТЬ
Зимовище
Посудово
Колибань
Капоренка
Чапаєвка
Крива Гора
Старосілля
Кошівка
Лельов
Паришев
Ладижичі
Гдень
Буда
Нова Красниця
Буряківка
Товстий Ліс
Кливини
Бовище
Стара Красниця
Стара Рудня
Чистогалівка
Копачі
Стечанка
Іллінці
Розіжджє
Корогод
ЧОРНОБИЛЬ
Заліся
Іванівка
Заліпля
Глинка
Бички
Новосілки
Ямпіль
Плютовище
Рудня-Вересня
Кам'янка
Разсоха
Орджонікідзе
Шевченкове
Старі Соколи
Карпилівка
Андріївка
Дитятки
Губин
Піски
Доманівка
Страхолісся
Городище
Кутувате
Оташів
Обачичі
Денисовичі
Хатки
Хутір Ліс
Боровичі
Окопи
Рудьки
Речиця
Беловичи
Весняне
Діброва

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Technological care process for pine tree stands

before falling

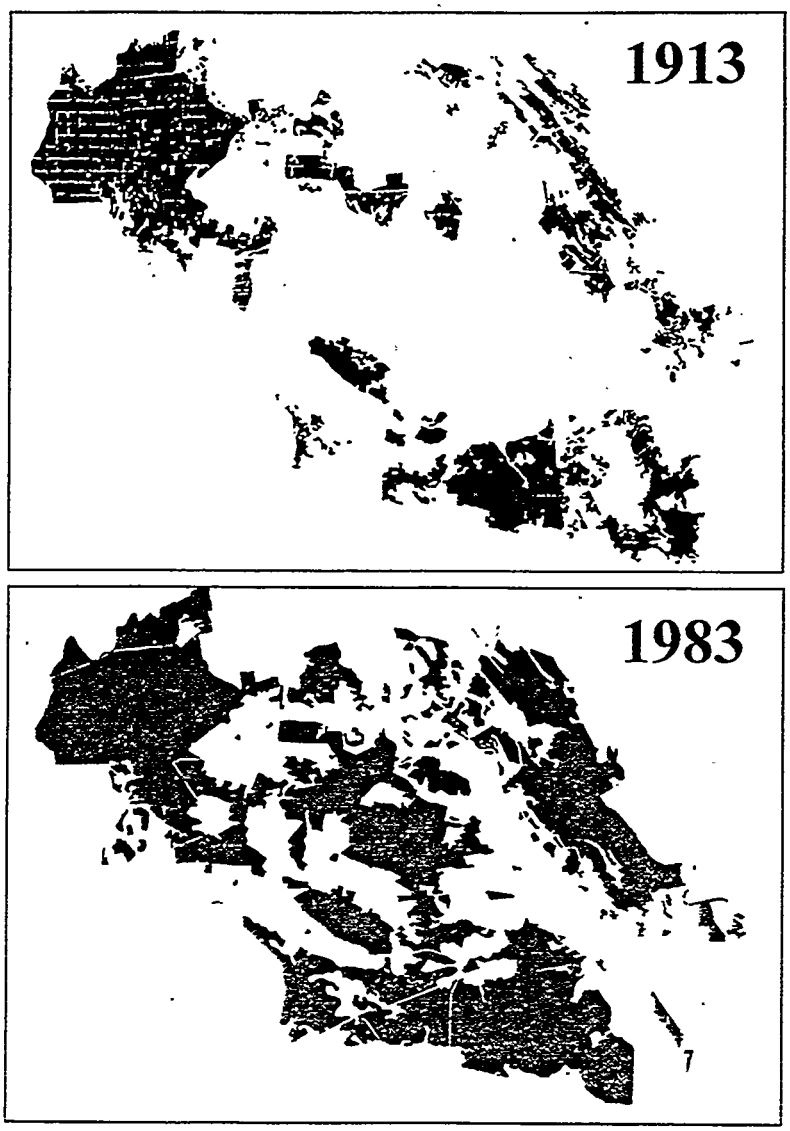
falling of tree row

after cleaning

Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

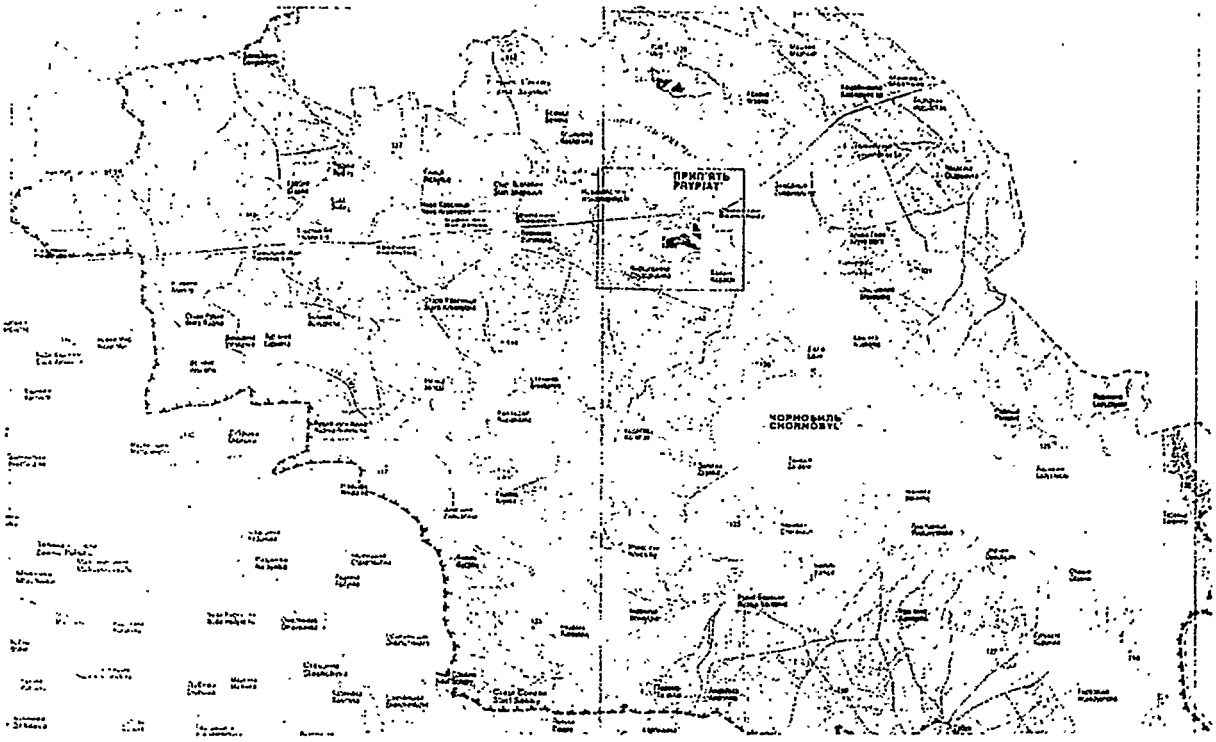
Area of forest land



Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

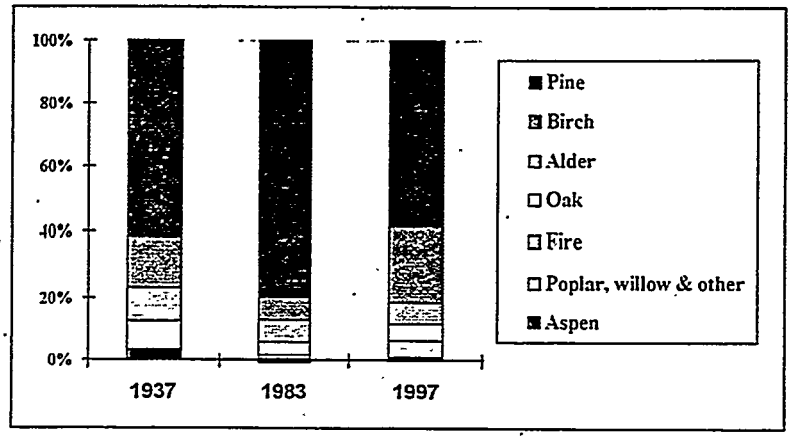
Schematical map of Exclusion Zone forests



Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Dynamics of forest species composition, %

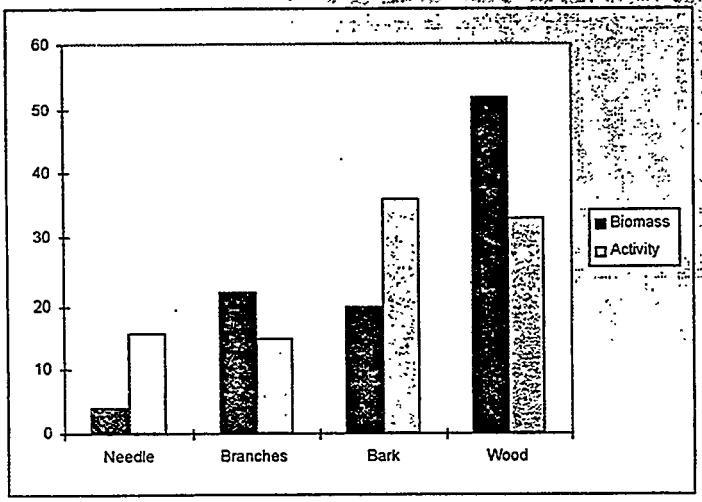


Valuation characteristic of pine stand, A_2

Forestry regime	*Age*	*Diameter, sm.*	*Height, m*	*Density, piece/ha*	*Supply, m^3*
low	33	10,6	13,0	3996	230,1
restricted	36	11,4	11,8	3453	222,7
entailed	28	11,3	10,6	3565	231,2
optimal	35			1500-2000	

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

Distribution of biomass and ^{137}Cs stock in pine-trees (%)

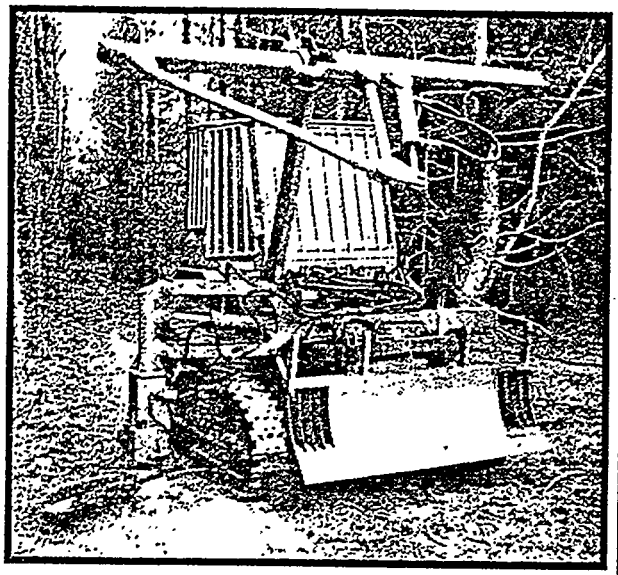


Decrease of ^{137}Cs during treanment of pine-wood

Re-processing regime	% of ^{137}Cs decrease
1-step treatment	35-55
2-step treatment	up to 80
3-step treatment with alkaline solution	93

Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research



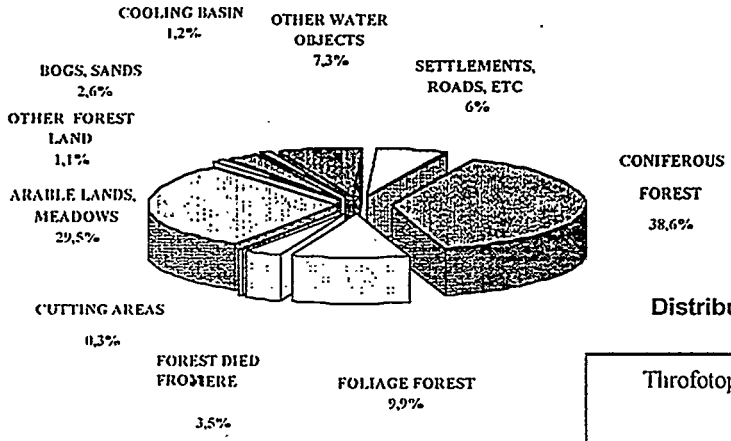
Small technics for forestry measures

Radioeclogical Feasibility of the Project

Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Chernobyl Scientific & Technical Centre for International Research

STRUCTURE OF LAND CLASSIFICATION IN EXCLUSION ZONE OF CHNPP IN 1995 YEAR



Distribution of forest land accordig to forest type, %

Throfotop	Hygrotop					
	arid (1)	fresh (2)	humid (3)	damp (4)	wet (5)	Total
poor soil (A)	9,3	38,7	0,6	0,1	–	48,7
relative poor soil (B)	1,2	27,7	6,4	1,3	0,04	36,6
relative rich soil (C)	–	2,6	5,4	5,8	0,3	14,1
rich soil (D)	–	0,003	0,3	0,2	0,1	0,6
Total	10,5	69.0	12:7	7.4	0.4	100

Radioeclogical Feasibility of the Project
Andrei N. Arkhipov and Nikolai D. Kuchma

Таблиця 7. Оцінки стану біоресурсів зони відчуження

	Зона звичайного проведення еколого-лісівничих заходів	Зона обмеженого проведення еколого-лісівничих заходів	Зона заповідного (у перспективі) режиму
Площа залісненої території, %	34,2	29,4	36,3
Площа лугів і перелогів, %	39,2	34,6	26,1
Запас біомаси деревини (тис.т)	2630	2260	2790
Запас біомаси хвої (тис.т)	240	200	250
Запас біомаси травостану (тис.т)	130	110	80
Запас ^{137}Cs на території, ТБк	80	150	1700
Запас ^{137}Cs в деревині, ТБк	2.9	8.8	46
Запас ^{137}Cs в хвої, ТБк	2.7	7.8	42
Запас ^{137}Cs в травостані, ТБк	0.096	0.29	0.89
Запас ^{90}Sr на території	29	70	1200
Запас ^{90}Sr в деревині, ТБк	2.2	6.3	39
Запас ^{90}Sr в хвої, ТБк	0.40	1.1	6.9
Запас ^{90}Sr в травостані, ТБк	0.14	0.41	1.5

The Radiation Situation of the External Surroundings in the Territory of the Chornobyl Exclusion Zone

Valerii V. Derevets
State Regional Environmental Monitoring and Dosimetry Control Enterprise
(DP RADEK), City of Chornobyl

ABSTRACT

The radiation situation has been described for objects of the environment (soil, air, surface and ground waters) of the Chornobyl Zone. The dynamics of the changes in radiation characteristics have been shown for the environment over the past ten years. Data is cited characterizing the flow of radionuclides outside the Exclusion Zone.

Определение характеристик загрязнений в Чернобыльской Зоне отчуждения

Радиационное состояние внешней среды на территории Чернобыльской зоны отчуждения.

Валерий В. Деревец
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль

ВЫДЕРЖКИ

Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль

Описано радиационное состояние объектов окружающей среды (почвы, воздуха, поверхностных и грунтовых вод) Чернобыльской зоны. Показана динамика изменения радиационных характеристик внешней среды за последние десять лет. Приведены данные, характеризующие потоки радионуклидов за пределы Зоны отчуждения.

Определение характеристик загрязнений в Чернобыльской зоне отчуждения

Радиационное состояние внешней среды на территории Чернобыльской зоны отчуждения.

Валерий В.Деревец
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль

1. Радиоактивное загрязнение почв.

Сложное развитие процесса аварии на ЧАЭС в сочетании с неустойчивыми атмосферными процессами привели к неоднородной картине загрязнения окружающей среды. Характер загрязнения зоны отчуждения не описывается строгим центрально-симметрическим распределение. На территории зоны отчуждения прослеживаются три следа с повышенными поверхностного загрязнения: западный северный, юго-восточный. К тому же ландшафт, формирующие приземный ветровой поток, поверхностный смыв в первые послеаварийные месяцы привели к резко неоднородному характеру распределения на низком уровне. Это находит свое выражение в том, что при наземном пробоотборе на ограниченной (вплоть до размера двух пробоотборников) площадке разброс значений загрязнения местности достигает нескольких раз.

Ориентировочные запасы основных радионуклидов, сосредоточенные в почвенном слое составляют для ^{137}Cs - 90 тыс.Ки, ^{90}Sr - 80 тыс.Ки, ^{239,240}Pu -800 Ки.

Средняя плотность загрязнения 5 км зоны составила: по ^{137}Cs - 230 Ки/км^2, ^{90}Sr - 102 Ки/км^2, ^{239,240}Pu - 3,2 Ки/км^2.

Изменения в нуклидном составе в течение последних лет носят закономерный характер: практически не видны относительно короткоживущие ^{144}Ce, ^{106}Ru, вклад ^{134}Cs составляет единицы процентов. За счет этого заметно упала общая радиоактивность почвы, произошло перераспределение вкладов долгоживущих нуклидов.

Средний по территории зоны отчуждения нуклидный состав поверхностного загрязнения с учетом расчетных значений по ^{241}Pu и ^{241}Am на конец 1997 года представлен в табл.1.

Вертикальная миграция радионуклидов в почве сравнительно невелика. По данным измерений в слоях 0-5 и 5-10 см, которые проводились ЦРЭМЗО, можно оценить, что в слое 0-5 см ближней зоны сохраняется в среднем 80-90% активности ^{137}Cs. Для ^{90}Sr этот показатель несколько ниже для плутония - находится на том же уровне.

За прошедшие 10 лет с момента аварии радиационная обстановка на территории зоны отчуждения значительно улучшилась по многим параметрам, определяющим дозовую нагрузку на человека. Коэффициент уменьшения МЭД по сравнению с июнем 1986 г. на нетронутых землях составляет около 100. На территориях, подвергнувшихся дезактивационным мероприятиям, кратность спада достигает 1000 и более единиц.

Мощность экспозиционной дозы на территории зоны отчуждения в настоящее время практически полностью формируется изотопами Cs.

Значения МЭД зависит от плотности радиоактивного загрязнения поверхностей и почти не зависит от содержания радионуклидов в воздухе.

2. Радиационное состояние приземного слоя воздуха.

На протяжении всего послеаварийного периода вследствие радиоактивного распада, процессов самоочищения, а также принятых усилий по дезактивации территории и пылеподавлению суммарная концентрация радионуклидов в воздухе неуклонно снижалась. Весьма интенсивный ее спад в первые послеаварийные годы постепенно замедлялся, и в последствие нескольких лет стал едва заметным. Это обусловлено

1. Возрастанием относительного вклада в суммарную концентрацию изотопов с большими периодами полураспада.
2. Уменьшением дефляции и темпа ее спада по мере закрепления почвой радиоактивных микрочастиц.

Динамика суммарной концентрации радионуклидов в воздухе по одному из постов наблюдения приведена на рис.1.

Радиационное состояние воздушной среды зоны отчуждения на современном этапе определяется в основном наличием в ней группы долгоживущих радионуклидов Чернобыльского выброса:
^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu, ^{241}Am. (Таблица 2).

В некоторых пробах воздуха на постах контроля, прилегающих к ЧАЭС регистрируются радиоактивные продукты современной деятельности станции: хром, марганец, железо, кобальт, йод. Их максимальные значения не превышают значения 10^{-17}, что на несколько порядков ниже допустимых значений.

В общих чертах картина радиационного загрязнения воздушной среды на территории зоны отчуждения соответствует распределению плотности первичных выпадений.

В настоящее время ближняя часть зоны характеризуется еще заметными уровнями загрязнения атмосферного воздуха по сравнению с воздухом дальней зоны - превышение составляет 50-100 раз.

Для всех постов контроля ближней зоны отмечается некоторое смещение нуклидного состава аэрозолей по сравнению с поверхностным загрязнением в сторону увеличения содержания цезия.

С другой стороны, нуклидный состав аэрозолей в пробах воздуха, отобранных в цехе дезактивации и на ПЗРО «Буряковка», приближается к радионуклидному составу поверхностного загрязнения.

В рамках концепции двухфазного состава радионуклидных выпадений этот факт можно объяснить более высокой дефляционной способностью конденсационных частиц. При нормальных условиях естественного пылеподъема определяющим компонентом в приповерхностных аэрозолях является конденсационная фаза. При усилении воздействия на пылящую поверхность вклад топливной составляющей увеличивается.

Удельное содержание радионуклидов в атмосферном воздухе и его динамика на протяжении года определяются как величиной и физико-химической формой выпадений, так и динамическим состоянием почвенной поверхности, а также конкретными метеорологическими условиями, сложившимися в период пробоотбора. Наблюдается заметная корреляция концентрации радионуклидов в воздухе с относительной влажностью воздуха, с суммой осадков в период пробоотбора, со скоростью ветра. В ходе концентрации на протяжении года заметно присутствие сезонного тренда. Средняя концентрация радиоаэрозолей в теплый период года, как правило, в 1,5 - 2 раза

превышает ее значение, регистрируемое в холодное время. Значительные всплески концентраций наблюдаются при шквальных ветрах.

Весьма заметные даже на периферии зоны отчуждения всплески концентрации радиоаэрозолей наблюдались в периоды массовых пожаров 1992 года.

3. Радиационное состояние поверхностных вод.

Радиоактивное загрязнение водных объектов в настоящее время происходит вследствие вторичных процессов, главными из которых являются смыв радионуклидов с загрязненных водосбросов, пойм рек, обмен их в системах «почва-вода», «дно-вода», поступление из пойменных загрязненных водоемов. Эти процессы в значительной степени определяются физико-химическими формами существования радионуклидов в выпадениях, геохимическими условиями, гидрологическим и гидрогеологическим режимами как зоны отчуждения в целом, так и локальных участков, отдельных гидротехнических комплексов, частных водосборов.

Отсутствие или недостаточность необходимых данных в первоначальный период после аварии, наряду с другими объективными и субъективными причинами, привело к осуществлению ряда малообоснованных дорогостоящих мероприятий, имевших часто «нулевой» или даже отрицательный эффект. К примеру таких мероприятий могут быть отнесены наносоулавливающие донные карьеры-ловушки на р.Припяти и в Киевском водохранилище, большинство глухих и фильтрующих перегораживающих плотин на малых реках и каналах зоны отчуждения, линейные системы скважин вертикального дренажа, дренажная «завеса» пруда-охладителя ЧАЭС, сработка Киевского водохранилища через поверхностные водосливы и некоторые другие.

Вместе с тем уже в 1986 г. было выполнено частичное обвалование правобережной поймы и отсечение ряда затонов от основного русла реки, что предупреждает возможность залпового поступления активности из затонов, исключает затопление очень загрязненного участка в районе оз.Азбучин.

В последующем данные мониторинга позволили определить наиболее существенные источники радиоактивного загрязнения р.Припяти, определить основные направления водоохранной деятельности, разработать и осуществить ряд проектов, из которых можно выделить комплекс водоохранных сооружений на левобережной (Красненской) пойме реки, заметная эффективность которого впоследствии подтвердилась данными мониторинга.

Эта система в существующем на сегодняшний день виде сформировалась в основном после завершения строительства комплекса в 1992 г. Ограждение очень загрязненной территории площадью около 22 км^2 с запасами активности около 10 тыс.Ки ^{137}Cs и 6,5 тыс.Ки ^{90}Sr защитило ее от затопления Припятью. При практически одинаковых сценариях развития ледовой обстановки и сходных характеристиках гидрологического режима во время проявления мощных зажоров в зимы 1991 и 1994 гг. максимальная концентрация ^{90}Sr в припятской воде и его вынос за период максимального стояния уровней в 1994 г. был примерно вдвое ниже, чем в 1991, до ограждения Красненской поймы. Однако оставалась нерешенной проблема поступления в Припять со старого польдера у сел Красного, Зимовище через дамбу № 7 воды, сильно загрязненной радионуклидами.

Данные радиационного мониторинга показывают, что среднегодовое содержание радионуклидов в воде основной артерии зоны отчуждения - р.Припяти - по всем трем

контролируемым створам (у с.Белая Сорока - на входе в зону, у г.Чернобыля и у с.Плютовища - в устьевой части), а также р.Ужа за последнее пятилетие значительно ниже контрольных величин ($ДК_Б$ и ВДУ-91).

В воде других малых водотоков зоны (рек Ильи, Сахана, Брагинки и их притоков) концентрация ^{90}Sr временами достигает и несколько превышает ВДУ-91, оставаясь при этом ниже $ДК_Б$ в воде р.Глиницы и фильтрующихся из пруда-охладителя ЧАЭС ручьях - постоянно выше ВДУ-91, но ниже $ДК_Б$, а в воде польдера у сел Красного, Зимовище - постоянно в 7...18 раз превышает ВДУ-91 и в 2...5 раз - $ДК_Б$.

Величину $ДК_Б$ превышает концентрация ^{90}Sr в воде практически всех стоячих и малопроточных водоемов зоны отчуждения, кроме пруда-охладителя ЧАЭС.

Содержание ^{137}Cs и суммарного плутония как по средним, так и максимальным значениям в припятской воде на 3-4 порядка ниже $ДК_Б$.

Результаты мониторинга показывают, что концентрация ^{137}Cs в воде Припяти от года к году неуклонно снижается. Эта тенденция прослеживается и для малых рек зоны. В последние годы только в единичных случаях суммарная (взвесь плюс раствор) концентрация ^{137}Cs в припятской воде превышала 10 пКи/л.

Концентрация ^{90}Sr, подавляющая часть которого находится в растворе, в реках и водоемах с относительно хорошей прочностью значительно подвержена колебаниям в ту или другую сторону в зависимости от гидрологического режима конкретного периода. Так, повышенные концентрации этого радионуклида наблюдаются в периоды с большими расходами воды или в зимы с мощными зажорами и заторами льда. При этом концентрации больше 30...40 пКи/л в воде Припяти наблюдаются при затоплении ее поймы в пределах зоны отчуждения после достижения уровней у дамбы № 3 106,5...106,7 мБС и выше (рис.3.1). В последнее пятилетие концентрации ^{90}Sr и выше 100 пКи/л в припятской воде отмечены только в 1991 и 1994 гг. в периоды проявления мощных зажоров льда.

Годовой вынос ^{90}Sr Припятью в Киевское водохранилище при прочих относительно постоянных условиях определяется, прежде всего, водностью конкретного года, а также отметками и продолжительностью стояния максимальных уровней реки в периоды весеннего половодья и проявления мощных зажоров и заторов зимой. В самые маловодные 1992 и 1995 гг. зафиксирован и наименьший годовой вынос ^{90}Sr. В наиболее многоводные годы, а также в годы с сильным проявлением заторно-зажорных образований (1988,1991,1993,1994 гг.) вынос ^{90}Sr составлял 380...510 Ки.

Годовой вынос ^{137}Cs Припятью в Киевское водохранилище, начиная с 1988 г., не достигал и половины выноса ^{90}Sr, а в отдельные годы - и четверти.

Всего за период 1986-97 гг. Припятью через створ Чернобыля вынесено около 3100 Ки ^{137}Cs и 3570 - ^{90}Sr.

Распределение выноса ^{90}Sr с территории зоны отчуждения за счет различных его источников приведено в таблице.

В зависимости от гидрометеорологических условий конкретного года, проводящейся водоохранной деятельности, естественных физико-химических процессов доля зоны отчуждения в общем выносе радиоактивного стронция в Киевское водохранилище со всего водосбора Припяти (без учета выноса Ужом и Брагинкой) в разные годы составляла от 40 до 75 %.

До 1993 г. потенциальный вклад в вынос ^{90}Sr с территории зоны отчуждения для левобережных участков поймы Припяти в многоводные годы оценивался величиной 45%, после ограждения Красненской поймы этот вклад уменьшился до 5 - 10%. За счет поступления активности из пруда-охладителя ЧАЭС через ЮДК, фильтрующиеся ручьи и через ложе его формируется 15-20% выноса ^{90}Sr с территории зоны, в маловодные годы эта доля увеличивается до 40-60%. Доля р.Ужа колеблется в пределах 4-13%, Брагинки - 2-6% , Сахана - 0,3-1% от суммарного выноса ^{90}Sr Припятью, Ужом и Брагинкой. Независимо от водности года в первом полугодии вынос ^{90}Sr Саханом, Ужом, Брагинкой стоком из польдера составляет основную часть (75...95%) его годовой величины, для Припяти эта доля колеблется в пределах от 65...70% в очень маловодные годы до 80...90% в годы со средними и многоводными веснами. Внутригодовое распределение выноса активности из пруда-охладителя фильтрующимися ручьями и ЮДК в годы любой водности относительно равномерно.

В замкнутых и малопроточных водоемах зоны отчуждения прослеживается медленное снижение концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr.
Это объясняется как естественным (относительно медленным) распадом радионуклидов, так, по-видимому, и происходящими физико-химическими и другими взаимосвязанными процессами в системах вода-дно-подстилающий водоносный горизонт-биоорганизмы и др. Уменьшение активности в пруде-охладителе ЧАЭС в значительной степени определяется выносом активности из него с большими массами фильтрующейся воды и постоянной подпиткой водоема более чистой припятской водой через БНС.

4. Радиационное состояние подземных вод.

Основными потенциальными источниками загрязнения подземных вод являются запасы активности, сосредоточенные на ПЗРО, ПВЛРО и донных отложений водоемов зоны отчуждения. Наиболее значительные очаги радиационного загрязнения сконцентрированы в центральной части зоны отчуждения и на левобережной пойме р.Припять в районе Красненского старика.

В настоящее время наблюдается в основном загрязнение верхней части четвертичного водоносного горизонта, который открыт с поверхности, подпитывается инфильтрационными водами за счет атмосферных осадков и гидравлически тесно связан с поверхностными водоемами и водотоками контролируемой зоны.

Средние значения концентрации ^{137}Cs в подземных водах изменяются от 1-5 пКи/л на переферии зоны до 10...15 пКи/л в центральной части. Концентрация плутония значительно меньше 1 пКм/л. Максимальные значения концентрации ^{90}Sr в подземных водах значительно больше и на отдельных ПВЛРО достигают 7000 пКи/л.

Первые признаки радиационного загрязнения четвертичного водоносного горизонта зафиксированы в апреле-мае 1987 года после весеннего снеготаяния.

С октября 1988 года отмечается устойчивый рост загрязнения ^{90}Sr фильтрационных вод из пруда-охладителя, который достиг своего пика в 1990-1992 гг. Последние годы на этом объекте наблюдается относительное улучшение радиационного состояния.

На отдельных локальных участках ПВЛРО Рыжий лес и Стройбаза радиационное загрязнение отмечено с 1990 года и достигло максимальных значений в 1994-1995гг.

Очень опасным источником радиоактивного загрязнения является зона промплощадки ЧАЭС и объект «Укрытие». В помещениях под разрушенным реактором концентрация ^{90}Sr в скопившейся воде $7*10^{-4}$ Ki/л.

На ПЗРО Подлесный 3 очередь ЧАЭС и Буряковка, несмотря на разные гидрогеологические условия на участках их расположения и способов захоронения РАО на протяжении ряда лет остается на низком уровне 6-30 пКи/л, что свидетельствует об очень медленной миграции из захоронений.

Следует отметить, что для всех ПЗРО сравнительно низкие концентрации стронция и цезия соответствуют их значениям и других участков зоны отчуждения, для которых источником поступления активности в водоносный горизонт является поверхностное загрязнение почвогрунтов.

Несколько другая картина наблюдается на пунктах временной локализации отходов (Рыжий лес, Стройбаза, район пруда-охладителя), где сравнительно высокие концентрации ^{90}Sr и обусловлено поступлением активности с отдельных инженерно-необорудованных захоронений за счет инфильтрационной воды, образованной за счет атмосферных осадков.

Следует отметить заметные колебания концентрации ^{90}Sr (в 2 раза) в теплый (март-октябрь) и холодный (ноябрь-февраль) периоды года при относительно небольших в 1,1-1,2 раза колебаниях глубины залегания уровней грунтовых вод.

В целом результаты мониторинга показывают, что распространение загрязнения грунтовых вод по фронту их движения происходит с достаточно низкой скоростью до 20-30 м в год. По предварительным оценкам основная масса этой воды может достичь р.Припять через несколько десятилетий.

Для питьевого горизонта зоны отчуждения, представленного эоценовым и сеноманским водоносными комплексами отделенных мощным водоупором до 30 км от четвертичного горизонта, достоверно загрязнение радионуклидами чернобыльского происхождения не отмечено и по расчетам маловероятно в ближайшие 70-100 лет.

Среднегодовые значения концентрации ^{90}Sr в грунтовыых водах

Объект контроля	Концентрация ^{90}Sr по годам, пКu/л									
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
«Рыжий лес» (скв. 1/1)		5	200	1 400	1700	1 200	6 200	7 100	6 040	6 980
«Стройбаза» (скв. 1/2)		10	100	200	100	800	1 200	400	540	1 010
Дренажная завеса пруда-охладителя, ПК-113 (скв. 151/3 к)	40	200	500	500	450	200	200	190	110	94
ПЗРО «Подлесный» (скв. 10)	10	10	10	20	20	10	20	12	10	19
ПЗРО «3-я очередь ЧАЭС» (скв.8)	10	10	10	10	30	10	20	10	12	21
ПЗРО «Буряковка» (скв. 35)		10	20	20	20	20	10	7,0	6,0	4,0

Средние значения концентрации ^{90}Sr и глубины залегания уровней грунтовыых вод за теплый и холодный периоды в 1993-96 г.г.

Периоды наблюдений	Скважина 1/1		Скважина 1/2		Сумма атмосферных осадков (без учета ливней), мм
	^{90}Sr ,пКu/л	глубина, м	^{90}Sr ,пКu/л	глубина, м	
Холодный (1993-94 г.г.)	3 800	2,18	800	5,06	
Теплый (1994 г.)	6 300	2,04	1160	4,90	245
Холодный (1994-95 г.г.)	5 300	2,50	380	5,39	
Теплый (1995 г.)	7 800	2,26	420	5,25	245
Холодный (1995-96 г.г.)	4 800	2,49	300	5,32	
Теплый (1996 г.)	6 500	2,32	640	5,23	383

Концентрация ^{137}Cs в приземном слое воздуха на постах контроля ЦРЭМЗО ГП «РАДЭК» в 1996 году.

Пункт контроля	Удаленность, азимут	Концентрация, Ки/л			Отношение сезон. к-ций (лето/зима)
		Мини-мальная	Средняя	Макси-мальная	
БЛИЖНЯЯ ЗОНА					
ОРУ-750	0,8 км; 180°	$1,9 \cdot 10^{-18}$	$8,7 \cdot 10^{-17}$	$3,0 \cdot 10^{-16}$	1,73
Нефтебаза	2 км; 330°	$3,5 \cdot 10^{-18}$	$3,2 \cdot 10^{-17}$	$1,6 \cdot 10^{-16}$	1,45
Припять АСКРО	3,4 км; 310°	$5,2 \cdot 10^{-19}$	$4,0 \cdot 10^{-18}$	$7,3 \cdot 10^{-17}$	1,16
Припять ЛВД	3,1 км; 290°	$6,9 \cdot 10^{-19}$	$1,1 \cdot 10^{-17}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$	2,14
БНС	2,6 км; 85°	$1,9 \cdot 10^{-18}$	$2,5 \cdot 10^{-17}$	$1,0 \cdot 10^{-16}$	1,90
ДАЛЬНЯЯ ЗОНА	*северный сектор*				
Красное	8 км; 13°	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$2,7 \cdot 10^{-18}$	$4,7 \cdot 10^{-18}$	1,42
Машево	11 км; 19°	$3,7 \cdot 10^{-19}$	$3,0 \cdot 10^{-18}$	$8,3 \cdot 10^{-18}$	2,37
	восточный сектор				
Зимовище	7 км; 60°	$2,5 \cdot 10^{-19}$	$2,0 \cdot 10^{-18}$	$1,9 \cdot 10^{-17}$	2,06
Кривая Гора	7 км; 97°	$3,5 \cdot 10^{-19}$	$1,8 \cdot 10^{-18}$	$3,7 \cdot 10^{-18}$	1,85
Староселье	9 км; 119°	$1,7 \cdot 10^{-19}$	$1,5 \cdot 10^{-18}$	$3,2 \cdot 10^{-18}$	1,44
	южный сектор				
Копачи	5 км; 155°	$1,8 \cdot 10^{-19}$	$2,5 \cdot 10^{-18}$	$1,6 \cdot 10^{-17}$	0,96
Чернобыль-2	10 км; 181°	$7,9 \cdot 10^{-20}$	$1,6 \cdot 10^{-18}$	$4,2 \cdot 10^{-18}$	1,38
Корогод	15 км; 204°	$1,1 \cdot 10^{-19}$	$1,4 \cdot 10^{-18}$	$3,7 \cdot 10^{-18}$	1,14
Чернобыль	16 км; 147°	$2,3 \cdot 10^{-19}$	$1,4 \cdot 10^{-18}$	$2,6 \cdot 10^{-17}$	1,71
Иловница	24 км; 186°	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$1,3 \cdot 10^{-18}$	$5,0 \cdot 10^{-18}$	0,59
Дитятки	32 км; 175°	$5,5 \cdot 10^{-20}$	$5,1 \cdot 10^{-19}$	$4,1 \cdot 10^{-18}$	1,73
Зеленый Мыс	40 км; 151°	$7,6 \cdot 10^{-20}$	$5,3 \cdot 10^{-19}$	$1,8 \cdot 10^{-18}$	2,63
	западный сектор				
Чистогаловка	7 км; 240°	$2,3 \cdot 10^{-19}$	$2,8 \cdot 10^{-18}$	$6,1 \cdot 10^{-18}$	1,18
Беневка	10 км; 306°	$2,9 \cdot 10^{-19}$	$1,2 \cdot 10^{-18}$	$3,6 \cdot 10^{-18}$	2,19
Ст. Шепеличи	11 км; 287°	$2,9 \cdot 10^{-19}$	$1,3 \cdot 10^{-18}$	$9,3 \cdot 10^{-18}$	1,72
Буряковка	13 км; 268°	$2,4 \cdot 10^{-19}$	$2,6 \cdot 10^{-18}$	$9,4 \cdot 10^{-18}$	2,19
Стечанка	15 км; 231°	$1,3 \cdot 10^{-19}$	$1,0 \cdot 10^{-18}$	$3,3 \cdot 10^{-18}$	1,48

Концентрация и вынос Cs-137 и Sr-90 р. Припятью в створе г. Чернобыля в 1986-97 гг.

Год	Средний годовой расход воды, м3/с	Концентрация, пКи/л Cs-137 средн.	Cs-137 макс.	Sr-90 средн.	Sr-90 макс.	Вынос, Ки Cs-137	Sr-90
1986	302	–	–	–	–	1785	746
1987	246	44	490	36	–	344	280
1988	411	20	260	39	280	256	506
1989	392	14	15	20	36	174	241
1990	409	9,7	20	21	64	125	273
1991	442	5,6	28	28	230	78	389
1992	295	5,6	31	12	45	52	112
1993	537	5,6	13	23	44	94	382
1994	476	5,3	12	25	160	80	383
1995	330	3,0	9,2	8,8	22	31	92
1996	319	3,4	10,6	9,1	18	35	93
1997	340	4,3	13	6,7	36	46	72
1986-97						3100	3569

Концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде некоторых водотоков и водоемов зоны отчуждения в 1997г.

Объект и пункт контроля	Концентрация ^{137}Cs, пКи/л			Концентрация ^{90}Sr, пКи/л		
	Минимальная	Максимальная	Средняя	Минимальная	Максимальная	Средняя
р.Припять - с.Довляды	0,6	19	3,4	0,6	4,2	2,0
р.Припять - Чернобыль	1,3	13	4,3	1,2	36	6,7
р.Уж - с.Теревач	1,0	5,8	2,2	3,5	13	6,9
Отводящий канал ЧАЕС	29	140	78	39	98	62
Пруд-охладитель	31	140	76	21	100	59
Южный дренажный канал, ПК-150	1,2	6,0	2,8	78	150	120
Припятский затон	57	250	180	480	1000	800
Семиходский затон	17	81	44	270	690	480
Польдер у с. Зимовище верхний бьеф соор .№7	40	150	78	300	1500	730
Озеро Глубокое	130	740	340	1300	3400	2700
Озеро Азбучин	200	500	340	1900	2900	2300
Отводящий канал 3 оч. ЧАЭС	6800	14000	10000	1200	2800	2300
Киевское водохранилище - с. Страхолесье	0,31	3,8	1,9	1,0	11	5,5

Таблица 1. Нуклидный состав поверхностного загрязнения в 1997г.

Нуклид	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{238}Pu	$^{239,240}Pu$	^{241}Pu	^{241}Am
Относительный вклад, %	0.83	55	28	0.16	0.32	15	0.39

Таблица 2. Нуклидный состав аэрозолей в ближней зоне наблюдения (аварийный компонент)

Нуклид	^{134}Cs	^{137}Cs	^{154}Eu	^{155}Eu	^{90}Sr	^{238}Pu	$^{239+240}Pu$	^{241}Pu	^{241}Am
Вклад, %	0.92	65	0.41	0.28	19	0.13	0.29	14	0.36

Примечание: приведенные в таблице данные о процентном вкладе ^{241}Pu и ^{241}Am - обсчитаны из известной концентрации $^{239+240}Pu$, расхождение между обсчитанными значениями и измеренными по ^{241}Am не превышает 10%

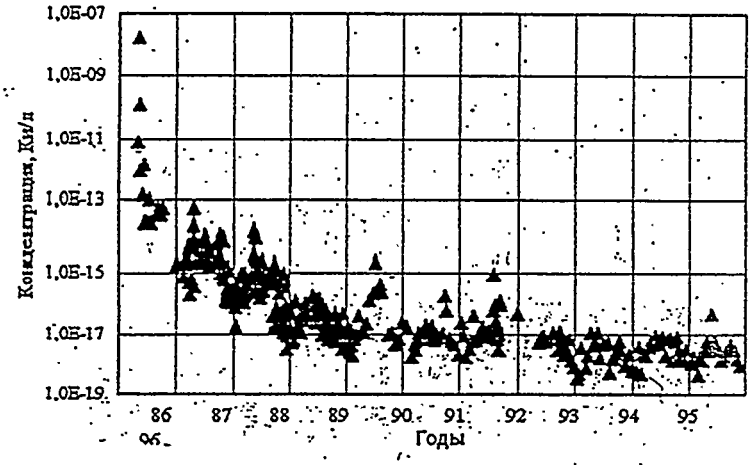
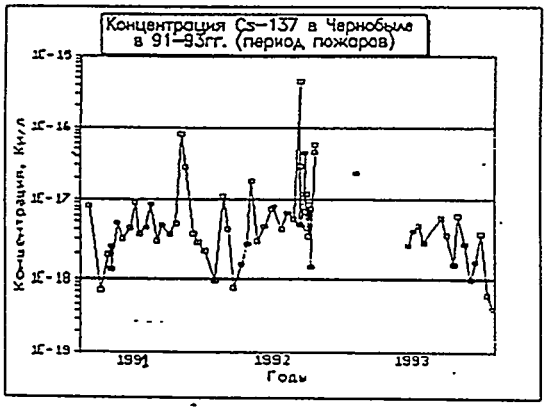
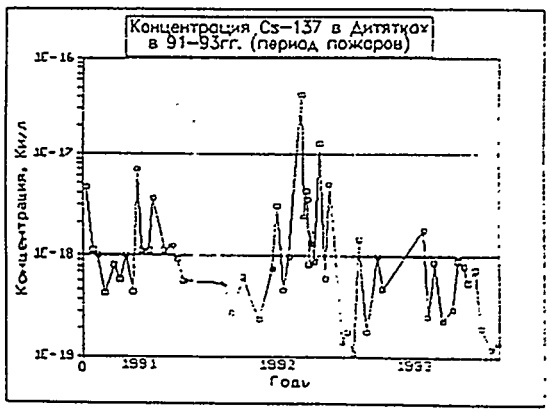


Рис. 1. Концентрация радиоаэрозолей в воздухе г.Чернобыля





Распределение выноса ^{90}Sr основными водотоками зоны отчуждения ЧАЭС и другими источниками в многоводном (1994) и маловодном (1996) годах, Ки

Водоток - створ	Годы	Месяц												Итого за год	Доля общ выносе,%
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
р. Припять - с. Довляды (вход в зону)	1994	7,1	8,9	38,8	65,0	16,3	9,1	5,0	5,0	2,4	1,7	1,7	2,1	163,1	39,9
	1996	0,8	0,3	0,6	3,8	16,6	5,1	1,4	1,4	1,7	2,6	0,9	3,4	39,0	38,4
р. Сахан - с. Новошепеличи	1994	0,4	0,2	0,6	0,3	0,1	0,2	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	1,9	0,5
	1996	0,01	<0,01	0,01	0,20	0,06	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,07	0,17	0,56	0,6
Сток с польдера через сооружение №7	1994	3,4	3,1	4,8	11,4	9,3	6,6	4,2	0,6	0,01	0	0	0	43,4	10,6
	1996	0	0	0	0,13	0,41	0,20	0	0	0	0	0	0,20	0,94	0,9
р. Глубочка-ЮДК	1994	0,7	0,6	0,9	1,2	0,8	0,9	0,8	1,1	0,7	0,5	0,6	0,6	9,3	2,3
	1996	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7	0,3	0,7	0,5	0,5	0,3	0,6	0,7	5,1	5,0
Фильтрующиеся ручьи из пруда-охладителя ЧАЭС	1994	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,4	7,6	1,8
	1996	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	3,9	3,8
Смыв с прибрежных полосы и загрязн. участков поймы рас-труска ф-льтр. вод через ложе пруда-охл. и через ручьи затоков, поступление с грунтовыми водами и др. источниками	1994	4,6	42,0	35,1	34,2	10,8	5,0	8,1	0,9	2,0	4,3	5,1	5,5	157,2	38,5
	1996	3,5	3,5	2,9	2,8	13,0	4,8	2,6	2,7	1,4	1,3	1,2	2,0	41,7	41,1
р. Припять - г. Чернобыль	1994	16,9	55,4	80,8	112,8	37,8	22,9	19,0	8,3	5,6	6,9	7,6	8,6	382,6	93,6
	1996	4,9	4,4	4,1	7,6	31,3	11,1	5,1	5,1	3,9	4,8	3,0	7,2	92,5	91,1
Поступление ^{90}Sr в р. Припять в пределах зоны отчуждения (створ Чернобыль-нижнее створ г. Довлядцы))	1994	5,8	46,5	42,0	47,4	21,5	13,8	14,0	3,3	3,2	5,2	6,9	6,6	219,0	53,6
	1996	4,1	4,1	3,5	3,8	14,7	6,0	3,7	3,7	2,2	2,2	2,1	3,8	53,5	52,7
Доля зоны отчуждения в формировании выноса ^{90}Sr Припятью, %	1994	58	84	52	42	57	60	74	40	57	75	78	76	57	
	1996	84	93	85	50	47	54	73	73	56	46	68	47	58	
р. Уж - с. Черевач	1994	2,7	1,8	4,3	3,6	1,1	1,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	17,5	4,0
	1996	0,12	0,08	0,18	1,2	0,82	0,13	0,08	0,31	0,15	0,21	0,23	1,15	4,7	4,6
р. Брагинка - с. Ладыжичи	1994	0,5	0,6	0,8	1,7	1,5	2,0	1,1	0,7	0,2	0,1	0,2	0,2	9,6	2,4
	1996	0,05	0,02	0,05	0,49	0,43	0,14	0,07	0,05	0,07	0,05	0,14	0,78	2,3	2,3
Выносв Киевскоеводохран.(выше р. Припять, р. Уж - р. Брагинка	1994	20,1	67,8	86,1	118,0	40,4	26,6	20,5	9,2	5,9	7,1	7,9	8,1	408,7	100,0
	1996	5,1	4,5	4,3	11,1	32,5	11,4	5,2	5,5	4,1	5,1	3,3	9,1	101,5	100,0

Radiation Monitoring Criteria of Project Implementation

Oleg A. Bondarenko
Institute of Radiation Protection, Ukraine

ABSTRACT

The report reviews the dosimetric aspects and criteria for implementing the project for phytoremediating the Exclusion Zone. This is done both from the point of view of the effectiveness of work aimed at lowering the potential irradiation dose and from the point of view of providing radiation safety for personnel involved in implementing the project.

On the whole, activities within the framework of the phytoremediation project may be classified as post-accident measures or counter measures aimed at countering or reducing the radiation effects of ionizing radiation on the populace. This may be viewed as one of the primary aims of the project. Within the framework of efforts aimed at dosimetry support for the project, the following tasks are suggested to be performed:

1. Developing methods of comprehensive dosimetry certification of the territory.
2. Elaborating specific criteria for rehabilitating the territory, primarily, control levels.
3. Selecting a critical contingent, both among the populace and among professionals taking part in the project.
4. Organizing dosimetry monitoring of professionals and the populace for internal and external irradiation.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Дозиметрические критерии реализации Проекта

Олег А. Бондаренко
Институт радиационной Защиты, Украина

ВЫДЕРЖКИ

В докладе рассмотрены дозиметрические аспекты и критерии реализации проекта фито-ремедиации Зоны отчуждения, как с точки зрения эффективности проведения работ с целью снижения потенциальных доз облучения, так и с точки зрения обеспечения радиационной безопасности персонала, участвующего в реализации проекта..

В целом деятельность в рамках проекта фито-ремедиации можно классифицировать как послеаварийные мероприятия или контрмеры, направленные на предотвращение или снижение радиационного воздействия ионизирующего излучения на население. Это можно рассматривать как одну из основных целей данного проекта. В рамках работ по дозиметрическому обеспечению проекта предполагается выполнение следующих задач:

1. Разработка методов комплексной дозиметрической паспортизации территорий.
2. Выработка конкретных критериев реабилитации территорий, в первую очередь, контрольных уровней.
3. Выбор критического контингента как среди населения так и среди профессионалов, участвующих в проекте.
4. Организация дозиметрического мониторинга профессионалов и населения по внутреннему и внешнему облучению.

Дозиметрические критерии реализации проекта

О.А.Бондаренко, НИИ Радиационной Защиты АТН Украины, ул. Мельникова, 53, Киев

Согласно Концепции Чернобыльской зоны отчуждения: ".. главной целью деятельности в Зоне, направленной на ликвидацию последствий Чернобыльской аварии, является минимизация экологической опасности Зоны, превращение ее в экологически безопасное состояние для населения Украины на всех этапах ее удержания."

В концепции предлагается введение буферной зоны, которая определяется как территория с невысокой плотностью загрязнения и с перспективой возвращения в народнохозяйственный оборот в ближайшие десятилетия.

В этом контексте представленный в проекте подход к фито-ремедиации радиоактивно загрязненных территорий весьма привлекателен по одной простой причине, что предполагает задействовать естественные процессы круговорота вещества в природных экосистемах. Лишь в одном месте этой замкнутой экологической цепочки происходит вмешательство человека, а именно извлечение, концентрирование и утилизация радиоактивных изотопов. Попутно при этом производится электроэнергия, что существенным образом улучшает экономические показатели проекта. Именно такого рода проекты необходимо всячески приветствовать. Однако, только тщательный и открытый учет всех специфических факторов, могущих снизить эффективность работы в целом или даже сделать ее нецелесообразной, позволит успешно воплотить идею проекта в жизнь. Ниже я привожу тезисно основные замечания такого рода, которые потребуют детального рассмотрения.

В рамках данного доклада коротко освещены следующие вопросы:

1. Цели и задачи дозиметрического обеспечения проекта.
2. Оценка потенциальных доз населения.
3. Обеспечение РБ при выполнении работ по проекту.
4. Учет специфики загрязнения территорий при оценке динамики очистки почв.
5. Подходы к оценке снижения доз населения при масштабировании технологии на заселенные территории.
6. Конструктивные предложения.

Цели и задачи дозиметрического обеспечения проекта

В целом деятельность в рамках проекта можно классифицировать как **послеаварийные мероприятия** или **контрмеры**, направленные на предотвращение или снижение радиационного воздействия ионизирующего излучения (ИИ) на население. Это можно рассматривать как одну из основных целей данного проекта. В рамках работ по дозиметрическому обеспечению проекта предполагается выполнение следующих задач:

1. Разработка методов комплексной дозиметрической паспортизации территорий.
2. Выработка конкретных критериев реабилитации территорий, в первую очередь, контрольных уровней.
3. Выбор критического контингента как среди населения так и среди профессионалов, участвующих в проекте.
4. Организация дозиметрического мониторинга профессионалов и населения по внутреннему и внешнему облучению.

Важным условием является то, что планирование и ведение работ по проекту должно опираться на три основных принципа радиационной защиты:

1. Принцип обоснованности облучения.
2. Принцип ограничения облучения.
3. Принцип оптимизации облучения.

Принцип обоснованности облучения - никакой вид практической деятельности с применением ИИ не должен допускаться, если он не приносит реального положительного эффекта ("чистой пользы").

Принцип ограничения облучения – уровни облучения от всех значимых видов практической деятельности не должны превышать установленных пределов доз (НРБУ-97). Фактически означает поддержание РБ.

Принцип оптимизации - все дозы облучения при использовании ИИ должны поддерживаться на таких низких уровнях, какие возможно разумно достигнуть с учетом экономических и социальных условий (минимизация облучения или принцип ALARA).

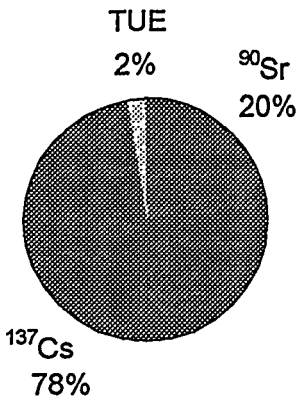
Оценка потенциальных доз населения

На основании выполненных нами исследований в Зоне отчуждения были получены следующие выводы:

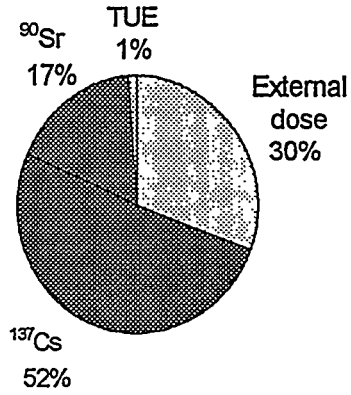
1. Разработана феноменологическая модель, на основании которой планируется выполнять исследования проблемы реабилитации Зоны отчуждения.
2. Разработаны методические подходы для изучения миграционных особенностей радионуклидов в экологической цепи выпадения-почва-рацион-человек. Предложены более совершенные радиохимические методы определения стронция-90 и ТУЭ в объектах окружающей среды и биопробах.
3. В процессе отработки методической схемы выполнены комплексные исследования в 3-х селах юго-восточного направления формирования следа радиоактивного загрязнения: Оташев, Опачичи, Куповатое. Получены следующие результаты:

– На основании данных о плотности выпадения радионуклидов, результатов СИЧ-измерений, результатов радиохимического определения стронция-90 и ТУЭ в рационах и моче жителей на примере с. Оташев получено следующее соотношение доз облучения: внешнее 30%, внутреннее от цезия-137 - 52%, стронция-90 - 17%, ТУЭ - 1% (рис. 1).

– Суммарная эффективная доза облучения взрослых жителей с. Оташев в 1996 году от всех перечисленных факторов составила 0.5 мЗв, что само по себе очень близко к основному пределу дозы для населения согласно НРБУ-97. Загрязнение отдельных компонентов рациона не оказывает существенного влияния на годовую дозу облучения.



Соотношение радионуклидов Чернобыльской компоненты в почве с. Оташев



Вклад радионуклидов Чернобыльской компоненты в дозы внешнего и внутреннего облучения жителей с. Оташев

Рис. 1.

1. На основании расчетов показана возросшая радиационная значимость ^{241}Am по отношению к суммарной активности ^{238,239,240}Pu. При разработке прогнозной модели формирования доз облучения от ТУЭ необходимо предусмотреть радиоэкологический и дозиметрический мониторинг работающих и жителей Зоны отчуждения в отношении ^{241}Am.
2. Предложена компьютерная ГИС-технология районирования сельскохозяйственной деятельности на основании карт коэффициентов перехода радионуклидов в растения (рис.2 и 3).

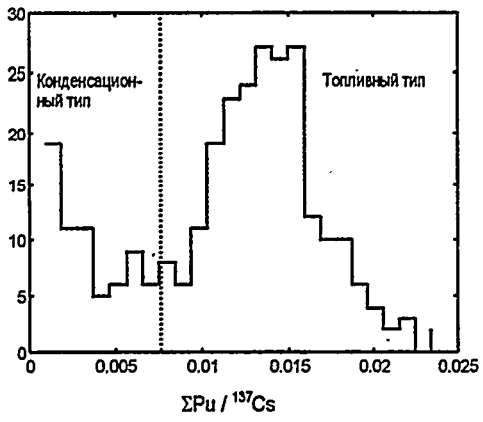


Рис. 2. Распределение соотношения ΣPu / ^{137}Cs по данным загрязнения почвы реперной сети 30-км зоны

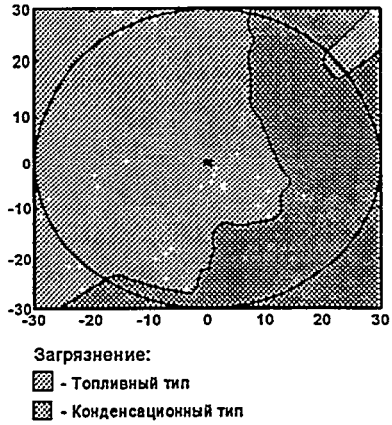


Рис. 3. Районирование топливного типа по изолинии соотношения ΣPu / ^{137}Cs для 30-км зоны, равной 0.0075

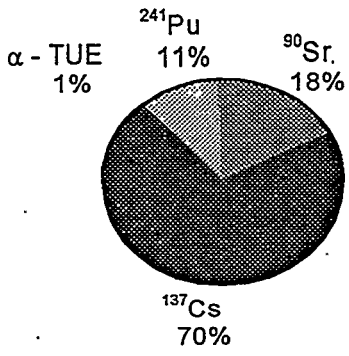
Дозиметрические критерии реализации проекта

О.А.Бондаренко

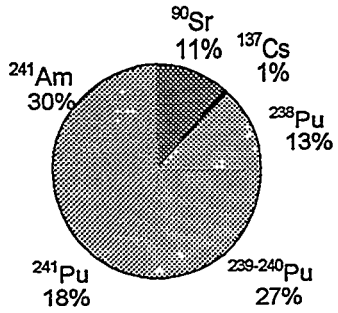
Обеспечение РБ при выполнении работ по проекту

Необходимым условием обеспечения радиационной безопасности при проведения работ является наличие в распоряжении службы РБ комплекса методических средств, обеспечивающих поддержку и качество дозиметрии внешнего и, особенно, внутреннего облучения персонала.

Внутреннее облучение персонала ОУ формируется, главным образом, ингаляцией альфа-, бета- и гамма-излучающих радиоаэрозолей. Благодаря жестким организационным и защитным мерам прямой пероральный путь поступления может быть практически исключен. Важно отметить, что при ингаляционном поступлении значительно увеличивается вклад ТУЭ в дозу. В качестве примера можно привести оценку потенциальных доз внутреннего облучения работников ОУ (рис. 4).



Соотношение радионуклидов в аэрозоле объекта "Укрытия"



Вклад радионуклидов в дозу внутреннего облучения работников объекта "Укрытия"

Рис. 4.

В настоящий момент трудно перечислить все проблемы, которые могут возникнуть при обеспечении РБ по проекту. Можно было бы упомянуть два конкретных вопроса, вытекающих из предлагаемой в проекте технологии:

1. В пояснительной записке не упоминается эффективность фильтрации радиоаэрозолей (включая ТГЧ) при сжигании. Это, на самом деле, может оказаться основным фактором вторичного загрязнения.
2. Другой проблемой, возникающей при сжигании, может оказаться высокая летучесть ^{137}Cs, что, как следствие, может привести к нецелесообразности использования сжигания фитомассы как источника энергии.

Динамика очистки территории зоны с учетом специфичности ее загрязнения

Специфика загрязнения Зоны будет определять динамику очистки территорий. Учет этих факторов во многом определит достижимость целей проекта и обоснование критериев его эффективности.

1. Идея с выкачкой из почв ^{90}Sr и ^{137}Cs не вызывает сомнений, хотя и требует дополнительной количественной проверки. Однако основной вопрос относится к ТУЭ - изотопам Pu и ^{241}Am. Дело в том, что коэффициенты перехода в биомассу для ТУЭ по крайней мере на два порядка ниже, чем для ^{90}Sr и ^{137}Cs. Значит плотность загрязнения почвы от ТУЭ практически не изменится за 100 лет. С другой стороны, границы Зоны отчуждения устанавливаются следующим образом - плотность загрязнения почвы ^{137}Cs должна быть не менее 15 Ки/км^2 или ^{90}Sr не менее 3 Ки/км^2 или Pu не менее 0.1 Ки/км^2 или эффективная доза D_{ef} от всех путей поступления указанных радионуклидов не менее 5 мЗв/год. С точки зрения оценки возможных последствий, а также с точки зрения практики принятия решений, величину D_{ef} целесообразно принять за единственный и наиболее обоснованный критерий.
2. Спецификой загрязнения Зоны является то, что существенная часть активности находится в виде топливных горячих частиц (ТГЧ). Наличие ТГЧ существенно замедляет переход активности в ионно-обменную форму и затем в фитомассу. Причем это верно и для ^{90}Sr и для ^{137}Cs и для Pu. Таким образом результатом выкачки ^{90}Sr и ^{137}Cs станет очистка почвы лишь от ионно-обменной формы. Активность в ТГЧ вовлекается по мере механического разрушения матрицы. Это можно рассматривать как позитивный фактор, - с одной стороны активность в ионно-обменной форме интенсивно изымается из круговорота, с другой стороны, активность, оставшаяся в форме ТГЧ, не входит в круговорот. И в том и в другом случае активность не принимает участие в формировании доз внутреннего облучения для человека, проживающего на этой территории. Таким образом одним из критериев эффективности реализации проекта может быть принята степень блокирования (и/или извлечения) ионно-обменной формы в почвенном круговороте, что в свою очередь может быть выражено в терминах уменьшения потенциальной дозы человека.

Оценка снижения доз облучения населения при масштабировании технологии фиторемедиации на территории вне зоны отчуждения

Масштабирование данной технологии фитодезактивации на территории вне зоны отчуждения предполагает снижение доз облучения проживающего там населения. Для оценки этого снижения доз можно воспользоваться практическим опытом НЦРМ, накопленным в рамках многолетней программы Дозиметрической Паспортизации Украины, которая финансируется МЧС. В рамках этой программы организована система общедозиметрической паспортизации. Эта система включает в себя: (1) радиоэкологический и дозиметрический мониторинг территорий и НП, (2) сбор, передачу и хранение результатов этого мониторинга в банках данных, (3) а также обработку этой информации с помощью согласованных моделей и процедур.

Заключения

Приведенные выше материалы дают возможность сформировать конструктивные предложения, которые необходимо учесть уже на стадии формировании ТЭО. Эти предложения состоят в нижеследующем:

1. **Поддержание РБ при проведении работ.** С целью соблюдения норм РБ необходима организация дозиметрического сопровождения собственно технологических операций. А именно, обеспечения индивидуальной дозиметрии внутреннего и внешнего облучения, а также обоснования и мониторинга контрольных уровней по различным радиологически значимым параметрам на различных технологических операциях.
2. **Дозиметрическая паспортизация и выработка критериев реабилитации** требуют использование оценок потенциальных доз населения, то есть таких доз, которые получил бы человек при проживании на данной территории. Методика дозиметрической паспортизации позволит в дальнейшем организовать текущий контроль РБ для проживающего населения.
3. **Программно-аппаратная поддержка методики паспортизации территорий** должна включать в себя

   - методы поточного измерения основных радионуклидов (^{137}Cs, ^{90}Sr, изотопы Pu и ^{241}Am) в объектах окружающей среды (высокоактивные пробы) и биологических объектах (низко- и сверхнизкоактивные пробы – особенно ТУЭ).
   - методы расчета доз внутреннего и внешнего облучения,
   - методы определения топливной компоненты загрязнения почв,

   При этом к инструментальным методам выдвигаются следующие требования – автоматизированность, чувствительность, экспрессность, низкая стоимость одного измерения. Для эффективной работы всей технологии дозиметрическая паспортизация территорий должна стать частью этой технологии.
1. **Выработка стратегии реабилитации Зоны.** Согласно Концепции Зоны отчуждения, при осуществлении деятельности, направленной на превращение Зоны в экологически безопасную систему, необходимо обеспечить дозиметрическое районирование ее территории и согласовать дозовые характеристики территорий с основными видами деятельности в различных частях Зоны, что позволит в свою очередь наметить и обосновать перспективы возвращения земель в народнохозяйственный оборот.
2. **Управление и оптимизация** снижения как потенциальных так и фактических доз населения может быть эффективно осуществлено с применением специализированных информационно-оптимизирующих компьютерных систем в области промышленной и экологической безопасности. После адаптации к условиям Украины такие системы безусловно необходимо внедрять в практическую деятельность.
3. **Организация.** Выработка решений по проекту требует централизации усилий для объединения знаний и опыта специалистов различного профиля. Именно такое централизованное взаимодействие позволит учесть все аспекты и выработать правильные критерии при оценке выполнимости проекта в целом. Поэтому разработку структуры взаимодействия различных блоков проекта необходимо начать уже на этапе разработки ТЭО по проекту.

OVERVIEW OF ONGOING PROJECTS

The Chornobyl Bioremediation Project

Larry Baxter
Sandia National Laboratories, Livermore, California

ABSTRACT

The explosion at the Chornobyl nuclear power plant in Ukraine released more radioactive material than any event in recorded history. Radioactive fallout contaminated large areas of Ukraine as well as many European countries. About 15% of the annual state budget in Belarus is allocated to trying to eliminate consequences of the accident, but the scope of the problem is too large to control. Contaminated wood is spread by forest fires as well as by domestic consumption for heating and cooking. People also eat contaminated mushrooms and berries.

Belarus does not have enough domestic energy, and many power plants that are operated with natural gas and fuel oil need to be rehabilitated. Bio-resources could supply needed energy, and this would help to remediate affected territories. Contaminated Chornobyl area wood represents a huge potential supply of energy.

In 1994, Sandia National Laboratories (SNL) and the Institute of Power Engineering Problems (IPEP) initiated a project to assess the economic, technological, and ecological aspects of converting biomass into heat and power in Belarus, with an emphasis on the contaminated regions. The U.S. Department of Energy funded this work through the Initiatives for Proliferation Prevention program. The U.S. government support for the project is intended to provide meaningful technical work to scientists and engineers formerly engaged in developing weapons of mass destruction. The U.S. Government role is designed to be phased out as the project matures to a profitable enterprise through a three-phase process: a feasibility study (Phase 1), pilot-scale testing (Phase 2), and commercialisation of the project on a basis of demonstration-scale facilities (Phase 3). The project is currently in the middle of Phase 2.

After the feasibility study was completed, SNL signed a Cooperative Research and Development Agreement (CRADA) with Wheelabrator Environmental Systems, Inc., which allowed the project to proceed into Phase 2. Wheelabrator contributes its own support, and the Integrated Performance Evaluation Program (IPEP) is supported through a new contract with SNL as well as by the Belarusian government. In September of 1997, several institutions in Denmark joined the project, including ELSAMPROJEKT, Risø National Laboratory, and the Danish Forest and Landscape Research Institute. The Danish government supports the Danish involvement through the Danish Environmental Protection Agency and the Energy Agency. The United States, Danish, and Belarusian activities are coordinated as one project, with overall project leadership from SNL and technical leadership on specific tasks distributed among the collaborators as appropriate. There is substantial international co-operation in essentially all tasks of the project. This combined project's central objective is to mature the proposed solution to the point that it is ready for commercial implementation. The schedule is for the combined project to be completed in 1999, i.e., to have completed all technical and regulatory steps to apply for license for commercial operation before the year 2000.

The technology to be used should operate reliably, emit a minimum of particulates, be flexible in handling fuel and ash, be easily maintained in the Belarusian economy, and be safe and easy to

operate. The ash from the process will contain nearly all of the radionuclides and can be disposed of as low-level radioactive waste. Cogeneration facilities would produce from 10 to 50 MW_e of electricity as well as steam for district headting or industrial activities. It would be necessary to make several tens of boilers, depending on their size, to process all of the contaminated forest material from 20 to 30 years.

The project's tasks are divided into objectives and deliverables as well as the status and summary of progress as well as future work to be done. The health physics issues include 1) dose before decontamination, 2) dose to workers, including power plant operators, 3) dose to the population from stack releases, 4) radioactive ash, and 5) dose after decontamination.

People in the contaminated forest receive the highest doses. Most dosage is caused by contamination from the forest floor, but some is caused by contaminated vegetation (trees). Eating mushrooms from the forest floor can can cause a high dose. However, people receive only very small doses from breathing forest air or using wood for heating.

The baseline study is finalized. However, some of the parameters are uncertain and will be re-evaluated in the context of task e (dose after decontamination). IPEP was originally scheduled to measure doses from stack releases, but they have insufficient resources. Arrangements are being made for Risø to make the measurements with their impactor system. The sampling gauge for analyzing the particle spectra and finding the filter efficiency is being prepared so that sampling can take place in the autumn of 1998.

Belarusian regulations for disposing of radioactive ash are still based on a decree from Soviet Union days, and it is believed that this is too strict. A risk analysis is being done to determine if it is safe for the regulations to be more lenient. The leaching of cesium from the ash has already been measured, and measurements of strontium are planned. This work will probably take some years, but all involved parties are convinced that the regulation work will not stop the progress of the work going on in other parts of the project. The necessary parameters for performing this study are not yet available, but are being collected from different sources, including Russia and Ukraine.

ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

Чернобыльский проект по восстановлению при помощи растительности

Лэрри Бакстер
Сандийская Национальная Лаборатория, Ливермор, штат Калифорния

ВЫДЕРЖКИ

При взрыве на Чернобыльской атомной электростанции на Украине произошел выброс радиоактивных материалов, превышающий по своему объему любое зарегистрированное за всю историю событие. Радиоактивные осадки вызвали загрязнение обширных территорий Украины, а также многих Европейских стран. Примерно 15% годового государственного бюджета в Беларуси ассигновано на попытки устранения последствий аварии, однако масштаб проблемы слишком велик для борьбы с ней. Находящиеся в древесине загрязняющие вещества распространяются при лесных пожарах и при использовании в домашних хозяйствах для обогрева жилищ и приготовления пищи. Люди также употребляют в пищу загрязненные грибы и ягоды.

Беларусь не располагает достаточным объемом вырабатываемой энергии внутри страны, а многие электростанции, работающие на природном газе и нефтяном топливе, нуждаются в реконструкции. Биологические ресурсы могли бы дать необходимую энергию, и это помогло бы при осуществлении проекта восстановления подвергшихся загрязнению территорий. Загрязненная древесина затронутого Чернобылем региона представляет собой громадный потенциальный источник энергии.

В 1994 году Сандийские Национальные Лаборатории и Институт Энергетических Проблем приступили к проекту по оценке экономических, технологических и экологических аспектов преобразования биомассы в тепловую и электрическую энергию в Беларуси с приданием особого внимания подвергшимся загрязнению регионам. Министерство Энергетики США финансировало эту работу через программу Инициатив по предупреждению распространения. Правительство США оказывает поддержку проекту для того, чтобы предоставить важную техническую работу ученым и инженерам, занимавшимся прежде разработкой оружия массового уничтожения. Подразумевается, что Правительство США постепенно прекратит свое участие в проекте по мере того, как проект полностью перерастет в прибыльное предприятие по ходу состоящего из трех фаз процесса: технико–экономического обоснования (Фаза 1), проведения опытно–экспериментальных испытаний (Фаза 2) и коммерциализации проекта на основе демонстрационных объектов (Фаза 3). В настоящее время проект находится в середине Фазы 2.

После завершения технико–экономического обоснования Сандийские Национальные Лаборатории подписали Соглашение о совместных исследовательских и разработческих работах с компанией Wheelabrator Enviromental Systems, Inc., что позволило проекту перейти к Фазе 2. Компания Wheelabrator привносит свою помощь, а поддержка Программе интегрированной оценки результатов деятельности оказывается как через новый контракт с Сандийской Национальной Лабораторией, так и со стороны

Белорусского Правительства. В сентябре 1997 года к проекту присоединились несколько организаций из Дании, включая ELSAMPROJECT, Национальную Лабораторию Рисо и Датский исследовательский институт лесного хозяйства и ландшафта. Датское Правительство оказывает свою помощь через Датское Агентство по охране окружающей среды и Энергетическое Агентство. Действия Соединенных Штатов Америки, Дании и Беларуси координируются как один проект при общем руководстве проектом со стороны Сандийской Национальной Лаборатории и соответствующем распределении среди участников проекта технического проведения отдельных заданий. Практически по всем заданиям проекта работа проводится при тесном международном сотрудничестве. Сводная центральная задача проекта заключается в том, чтобы довести предлагаемое решение до той точки, когда оно будет готово для коммерческой реализации. По графику сводный проект должен быть завершен в 1999 году, т.е. к тому времени должны быть завершены все шаги технического и нормативного характера, необходимые для подачи заявки на получение лицензии на коммерческую работу до 2000 года.

Работа предназначенной для применения технологии должна быть надежной, приводить к выделению в окружающую среду минимального количества частиц, обладать гибкостью в обращении с топливом и золой, простотой ведения в условиях Белорусской экономики и должна быть безопасной и простой в эксплуатации. Возникающая в результате процесса зола будет содержать почти все радионуклиды, а ее захоронение может производиться как захоронение низко радиоактивных отходов. Вырабатывающие объекты будут производить от 10 до 50 $МВт_е$ электроэнергии, а также пар для теплоснабжения или для промышленной деятельности. Потребуется создать несколько десятков котлоагрегатов, в зависимости от их размера, для переработки всего загрязненного лесоматериала в течение периода времени от 20 до 30 лет.

Задания проекта подразделены по задачам и конечным результатам, положению дел и общему прогрессу, а также по будущим работам, которые должны быть осуществлены. Связанные с дозиметрической службой вопросы включают в себя следующие 1) доза до дезактивационных работ, 2) доза облучения работников, включая эксплуатационный персонал электростанций, 3) доза облучения населения в результате выходов из вытяжных труб, 4) радиоактивная зола и 5) доза после дезактивационных работ.

Находящиеся в подверженном загрязнению лесу люди получают наиболее высокие дозы облучения. Большинство дозы вызвано загрязненной лесной подстилкой, но причиной некоторой части является загрязненная растительность (деревья). К получению высокой дозы облучения может приводить употребление в пищу растущих в лесной подстилке грибов. Вместе с тем, дыхание лесным воздухом или использование древесины для обогрева приводит к получению людьми очень небольших доз.

Поведен итог изучению фоновых условий. Однако, некоторые параметры неясны, и их оценка должна быть проведена повторно в контексте задания 5 (доза после дезактивационных работ). Первоначально в график было включено то, что Институт Энергетических Проблем проведет измерение доз от выходов их вытяжных труб, однако они не располагают достаточными ресурсами. В настоящее время обговаривается, чтобы измерения были сделаны Национальной Лабораторией Рисо с помощью их системы пробоотборника атмосферных частиц. Подготавливается измерительное оборудование для

анализа спектра частиц и определения эффективности фильтрующих устройств для того, чтобы взятие замеров могло быть проведено осенью 1998 года.

Белорусские нормативы по захоронению радиоактивной золы до сих пор основываются на приказе со времен Советского Союза, и, как полагают, они слишком строги. Проводится анализ риска с тем, чтобы определить -- будет ли безопасным послабление нормативов. Уже проведены измерения выщелачивания из золы цезия, и планируется проведение измерений для стронция. Эта работа, вероятно, займет несколько лет, однако все принимающие в ней участие стороны убеждены, что нормативная деятельность не остановит прогресса работ, проводимых по другим разделам проекта. Необходимых параметров для проведения такого исследования еще нет в наличии, но их сбор ведется из различных источников, включая Россию и Украину.

The Chernobyl Bioremediation Project

L. Baxter, A. Grebenkov, D. Allen, H. Junker, J. Roed, P. Kofman

Sandia National Laboratories, Institute of Power Engineering Problems, Wheelabrator Environmental Systems, Elsamprojekt, Risø Laboratory, Forest & Landscape Inst.

The Chernobyl Bioremediation Project has Several Objectives

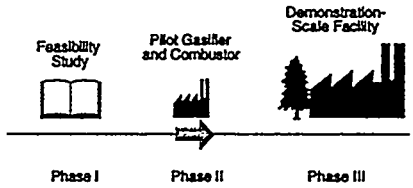
- Environmental Remediation of Chernobyl-Contaminated Regions of the FSU
- Steam and Power Generation from Biomass in the FSU
- Weapons Nonproliferation (US funding)

Outline

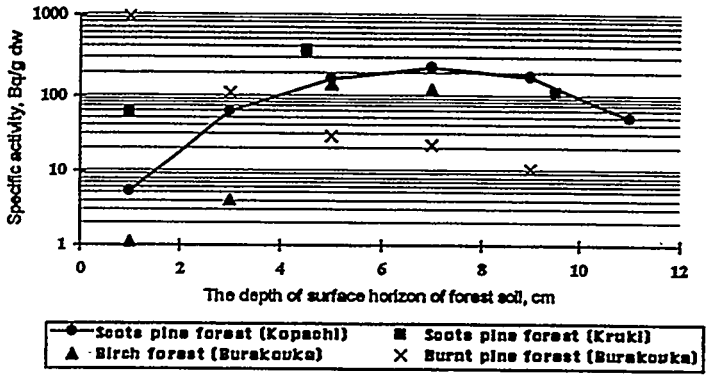
- Objectives, History, and Size of Project
- Major Institutions Involved
- Feasibility Study and Characterization
- Risk Analysis
- Simulation/Pilot Testing of Concepts
- Demonstration-Scale Status

CBP Began Work 4 Years Ago

- Have completed commercial-scale simulation and some pilot-scale tests in US.
- Will complete remaining pilot-scale tests in FSU this summer.
- Demonstration-scale designs have been inititated.

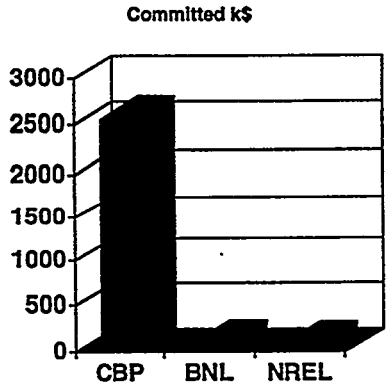


Cotamination Profiles are Known



Several Related IPP Projects

- IPP projects are organized within a technology group.
- BNL projects focus on ash disposal and phytoremediation.
- NREL project focuses on non-contaminated biomass.

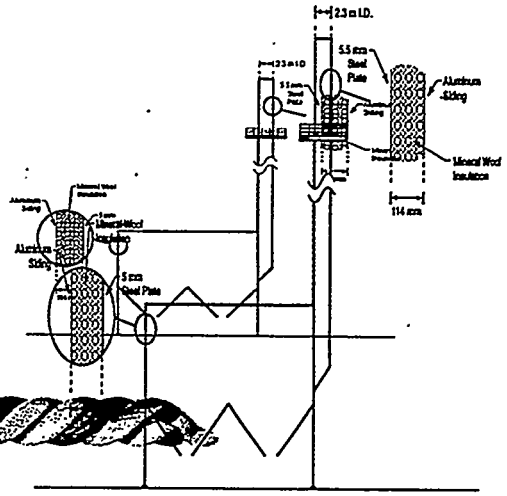


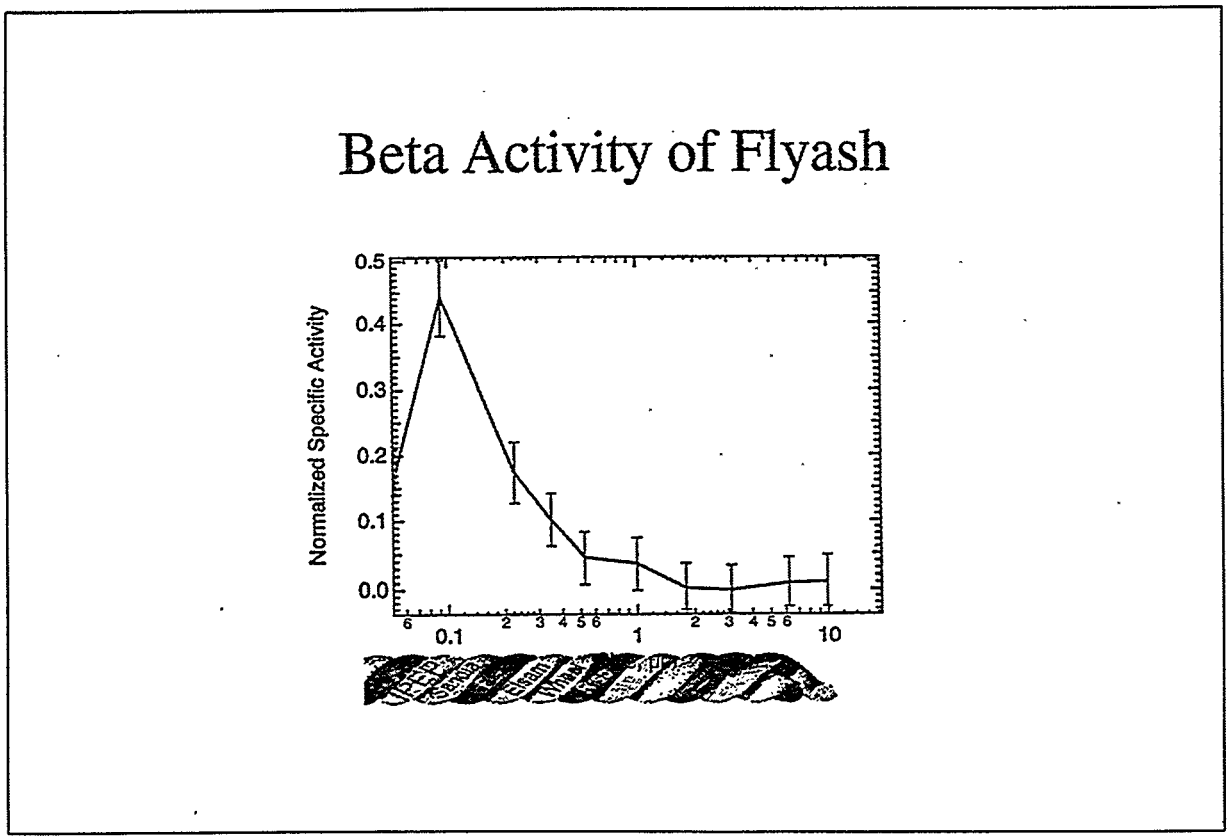
Health Physics Analysis

- Radiative effects on health are not trivial.
- Anxiety over radiative environment and lack of jobs are at least as significant.
- This project can address most aspects of Chernobyl-induced health effects.

Boiler-related Risks are Under Analysis

- Standard western designs are used for calculations.
- Doses from deposits and stack emissions are characterized.

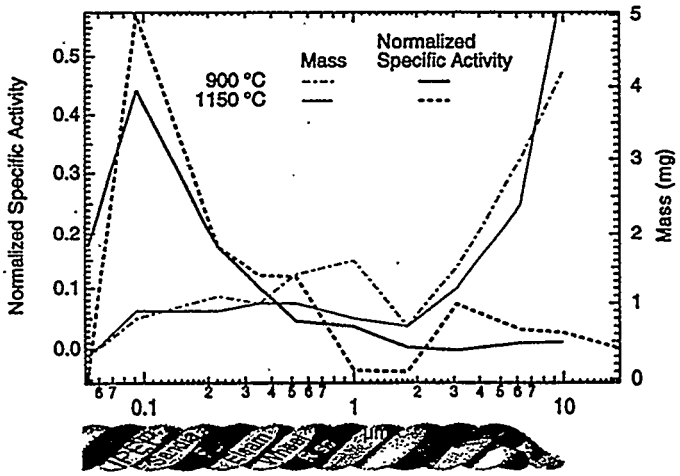




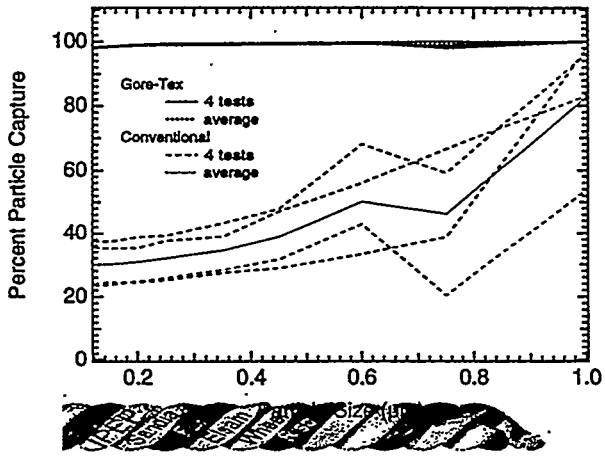
The Chernobyl Bioremediation Project

L. Baxter, A. Grebenkov, D. Allen, H. Junker, J. Roed, P. Kofman

Activity Depends on Size

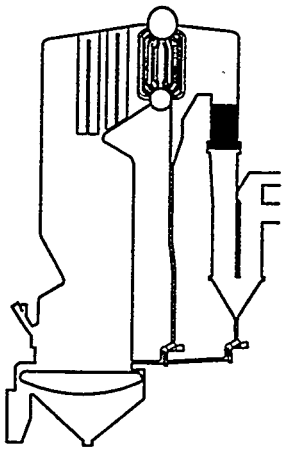


Particulate Capture is Essential



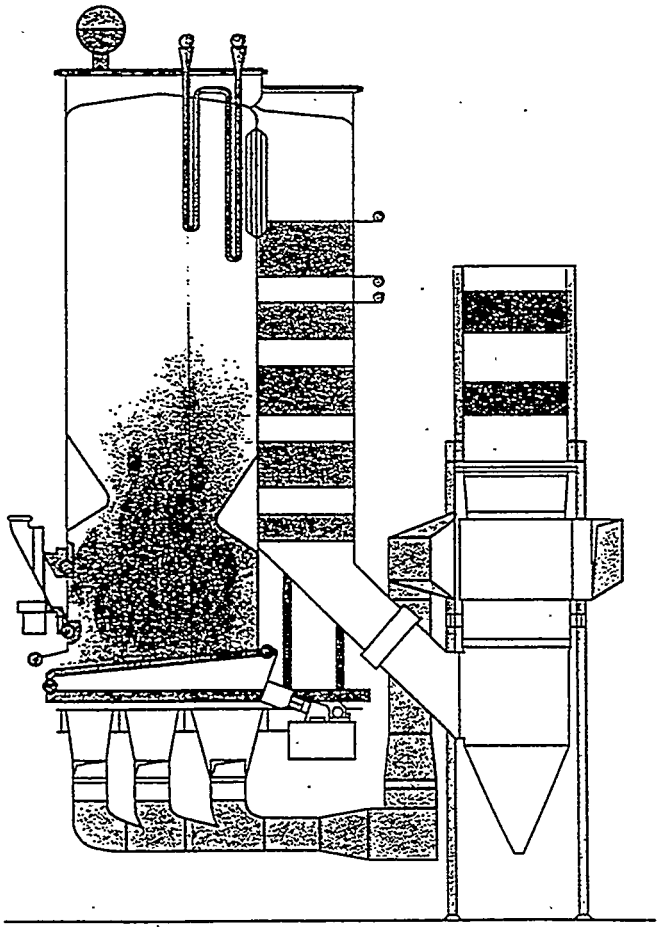
Technology Selection is Mature

- Considered kilns, bubbling beds, fluid beds, gasifiers, and stoker-fired grates.
- Design criteria emphasized robust, low-maintenance, low-risk technology.

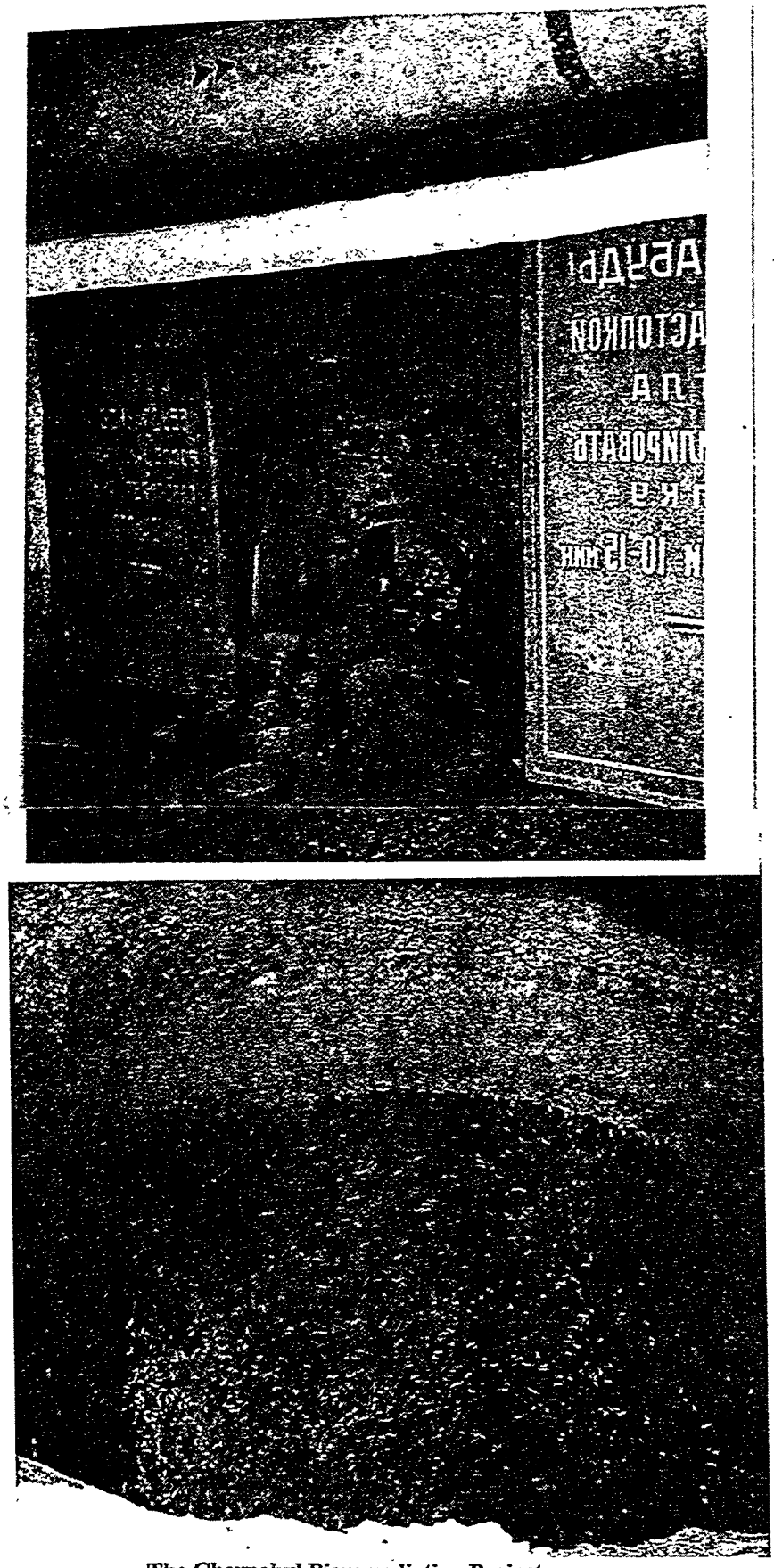


Boiler Specification

Fuel	Wood chips/sawdust/Butane gas/ fuel oil
Firing system	Spreader stoker (4 spreaders)
Fuel consumption, wood chips (45 % water content)	31 t/h
Steam output	108 t/h, 102 bar
Steam temperature	542 °C
Boiler efficiency, wood chips	92.3 %
Max. water content in fuel	60 %



Joint Stock Sawmill



The Chernobyl Bioremediation Project
L. Baxter, A. Grebenkov, D. Allen, H. Junker, J. Roed, P. Kofman

An Overview of Argonne National Laboratory's Phytoremediation Program

R.R. Hinchman
Don Johnson
Cristina Negri
Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois

ABSTRACT

Argonne's research in phytoremediation started in 1990 under funding by the Gas Research Institute. Current and more recent work is funded by the U.S. Department of Energy Argonne Group West and EM-40, and the U.S. Energy Research, Laboratory Technology Research Program, Argonne National Laboratory, under Research and Development Agreement (CRADA) with Applied Natural Sciences, Inc. (Fairfield, Ohio).

Our approach is focusing on extending phytoremediation beyond the traditional hyperaccumulator species to large, robust perennial plants with high biomass production and transpiration rates, extensive root systems, and coppicing capability, and on evaluating contaminant partitioning and sequestration in all plant organs. We are also investigating root harvesting to maximize contaminant removal. Throughout the years, several cooperative Argonne-Industry Projects have been conducted, with the objective of providing the baseline science and data for real-life phytoremediation applications.

In the zinc uptake experiments, hybrid poplar plants were able to totally adsorb and sequester up to 800 mg/L Zn in nutrient solution in about 4 hours, during a single pass through the root system. A mean concentration of 38,000 mg/kg Zn was found in root samples at the highest treatment levels, while translocation to wood and leaves appeared relatively limited to approximately 2,000 mg/kg. Hybrid willows and poplars were grown in soil from Picatinny Arsenal (contaminated with lead and arsenic), and in quartz sand containing 10- and 100-ppm soluble lead or arsenic. Results indicated a removal of 10% available Pb and 1% total As in soil, and approximately 40% of both elements in sand by willows in a 30-day growth period.

A new, improved, and faster method was developed by our group to determine degradation products of chlorinated organics in plant tissue. Degradation of trichloroethlyene and perchloroethylene was observed in hybrid poplar and willow.

We have also developed considerable expertise in salt tolerant plants (halophytes). Salt tolerant plants were selected and tested for volume reduction of salt brines from oil and gas production. Field tests conducted at an oil production site in Oklahoma confirmed greenhouse data of 75% volume reduction in less than 8 days by evapotranspiration by halophytes.

The Remedial Investigation/Feasibility Study for Argonne-West at the INEEL recommends phytoremediation as the preferred remediation mediation method, contingent on results of bench scale testing. Two sites at Argonne-West have been selected for the initial investigations. Bench scale testing on a soil contaminated with ^{137}Cs and another with inorganics (As, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) is underway. Field testing on these two soils and testing on other five soils will be conducted after reviewing obtained data.

Our CRADA Partner, Applied Natural Sciences, Inc., has developed a patented technology (TreeMediation®) that uses deep-rooting woody phreatophyte plants, such as willows and poplars, to remediate groundwater at much deeper locations than the traditional phytoremediation application. This technology is commercially available and implemented at a number of sites throughout the United States.

ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

Обзор Программы по восстановлению при помощи растительности Аргонской Национальной Лаборатории

Р.Р. Хинчмен
Дон Джонсон
Кристина Негри
Аргонская Национальная Лаборатория, Аргонн, штат Иллинойс

ВЫДЕРЖКИ

Исследования Аргоннской Лабораторией в области восстановления при помощи растительности начались в 1990 году при финансировании Институтом Газовых Исследований. Проводимая теперь и наиболее недавняя работа финансируется Аргоннской Западной Группой Министерства Энергетики США, EM–40 и Энергетическими Исследованиями США, Лабораторией Программы по Технологическим Исследованиям при Аргоннской Национальной Лаборатории, согласно Соглашению по работам в области Исследования и Разработки с компанией Applied Natural Sciences, Inc. (Фэрфилд, штат Огайо).

Наш подход заключается в сосредоточении на расширении восстановления при помощи растительности за пределы традиционных гипераккумулирующих видов в направлении использования крупных, крепких многолетних растений с высокой скоростью создания биомассы и испарения, обширными корневыми системами и возможностью лесопосадки и на оценке распределения и секвестрации во всех органах растений. Мы также исследуем включающую корневую систему рубку для максимального удаления загрязняющих веществ. На протяжении лет был проведен ряд совместных проектов между Аргоннской Лабораторией и промышленными отраслями с целью предоставления основных научных данных для использования восстановления при помощи растительности в реальных условиях.

В экспериментах по поглощению цинка гибридные тополиные растения оказались в состоянии полностью поглотить и секвестировать вплоть до 800 мг/Л Zn в питательном растворе в течении примерно 4 часов во время единственного прохождения через корневую систему. На высоте уровней обработки было обнаружено среднее значение концентрации в корневых образцах 38.000 мг/кг Zn, в то время как транслокация в древесину и листья ограничилась значением приблизительно в 2.000 мг/кг. Гибридные ивовые и тополиные растения выращивались в почве с Арсенала Пикатини (загрязненной свинцом и мышьяком) и в кварцевом песке, содержавшем 10- и 100-млн$^{-1}$ растворимых соединений свинца и мышьяка. Результаты показали, что ивовые растения в течение 30–дневного периода роста удаляли 10% содержавшегося в почве Pb и 1% As и приблизительно 40% обоих элементов в песке.

Нашей группой был разработан новые, усовершенствованный и более быстрый метод определение продуктов расщепления хлористых органических соединений в растительной ткани. В гибридных тополиных и ивовых растениях наблюдалось расщепление трихлорэтилена и перхлорэтилена.

Мы также приобрели обширный опыт с солеустойчивыми растениями (галофитами). Были отобраны и испытаны солеустойчивые растения на снижение объема соляных растворов при добыче нефти и газа. Проведенные полевые испытания на месте добычи нефти в штате Оклахома подтвердили полученные в тепличных условиях данные 75% снижения объема менее чем за 8 дней путем суммарного испарения галофитами.

Исследование и технико–экономическое обоснование для Аргонн–Вест в INEEL рекомендует восстановление при помощи растительности в качестве предпочтимого метода восстановления с учетом результатов лабораторных испытаний на масштабной модели. Для первоначальных исследований были отобраны два месторасположения в Аргонн–Вест. В настоящее время ведутся лабораторные испытания на масштабной модели с почвой, загрязненной ^{137}Cs, и другое с неорганическими веществами (As, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn). Полевые испытания на этих двух почвах и испытание на других пяти почвах будет проведено после изучения полученных данных.

Наш партнер по Соглашению по работам в области Исследования и Разработки, компания Applied Natural Sciences, Inc., разработала патентованную технологию (TreMeditation®), которая использует имеющие глубокую корневую систему древесные фреатофитные растения, такие как ивовые и тополиные, для восстановления грунтовых вод, залегающих значительно глубже, чем при традиционном применении восстановления при помощи растительности. Эта технология является коммерчески доступной и применяется в ряде мест по всем Соединенным Штатам Америки.

An Overview of Argonne National Laboratory's Phytoremediation Program

Providing the Baseline Science and Data For Real-Life Phytoremediation Applications - Partnering with Industry for Success

M.C. Negri, R.R. Hinchman, and D.O. Johnson
Energy Systems Division
Argonne National Laboratory
Argonne, Illinois, USA

Acknowledgements

Research Funded By the U.S. DOE:

- Energy Research, Laboratory Technology Research Program, Argonne National Laboratory
- Argonne Group West, and EM-40

Under CRADA
with Applied Natural Sciences, Inc.
Fairfield, Ohio.

The phytoremediation research at ANL and ANS, Inc. is focusing on:

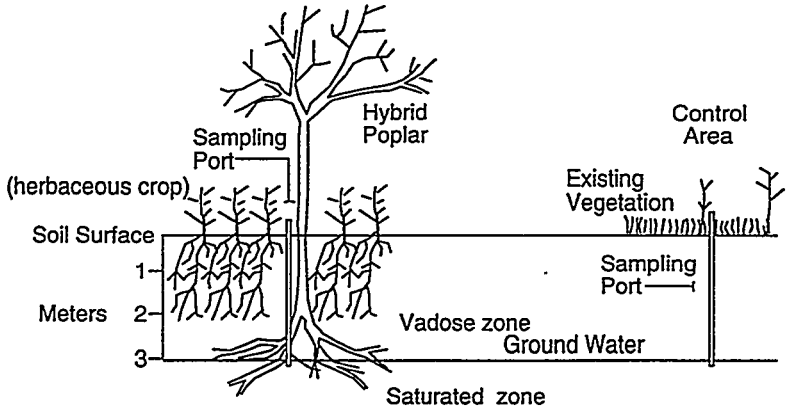
- Extending phytoremediation beyond the traditional hyperaccumulator species to large, robust perennial plants with high biomass production and transpiration rates, extensive root systems, and coppicing capability.
- Evaluating contaminant partitioning and sequestration in all plant organs.
- Investigating root harvesting to maximize contaminant removal.

Cooperative Argonne -Industry Projects

- Zinc Uptake in Hybrid Poplar (ANS)
- Uptake and Partitioning of Lead and Arsenic by Willow and Poplar (ANS)
- Uptake and Fate of Chlorinated Organics in Woody Plants (ANS)
- Biotreatment of Produced Waters (GRI and Devon Energy Corp.)

Our CRADA Partner:
Applied Natural Sciences, Inc.

An Example of Existing Field Application of *TreeMediation®*



TreeMediation®

TreeMediation® Program - 4th Year
Two Rows of Hybrid Poplar Planted as a Hydraulic Barrier to prevent the Offsite Advancement of the Contaminant Plume.
Results todate:
Contraction of Downgradient Contaminant Plume
-Remedial Action Evident by the 2nd Year-

TreeMediation®

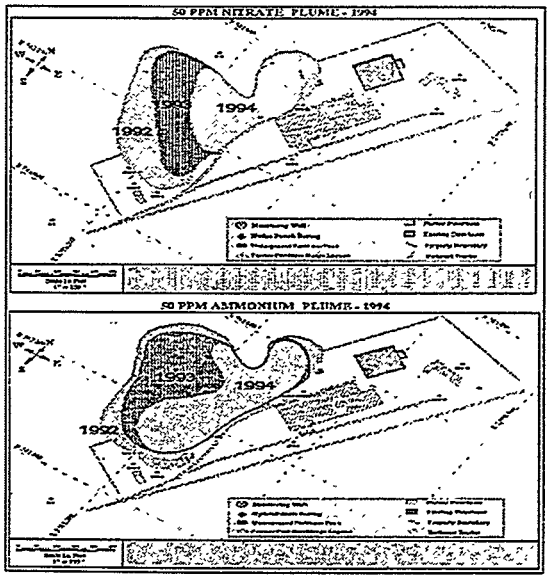
Root System of Potted Poplar Tree

-

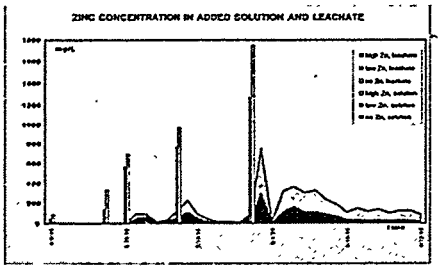
Two Years after Planting

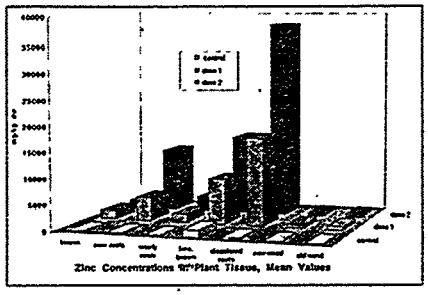
TreeMediation® Field Results

data from
Dr. E.G. Gatliff, ANS, Inc.
Fairfield, OH



Zinc Uptake in Hybrid Poplar





- Up to 800 mg/L Zn, the zinc was totally and selectively adsorbed and sequestered by the plants in about 4 hours, during a single pass through the root system.
- A mean concentration of 38,000 mg/kg Zn was found in root samples at the highest treatment levels
- Translocation to wood and leaves appeared relatively limited

Picatinny Arsenal Soil Experiment

- Hybrid willows and poplars were grown in soil from Picatinny Arsenal, (Pb and As contaminated), and in quartz sand containing 10 and 100 ppm soluble lead or arsenic.
- Results indicated a removal of 10% available Pb and 1% total As in soil, and approx 40% of both elements in sand by willows in 30 days growth.

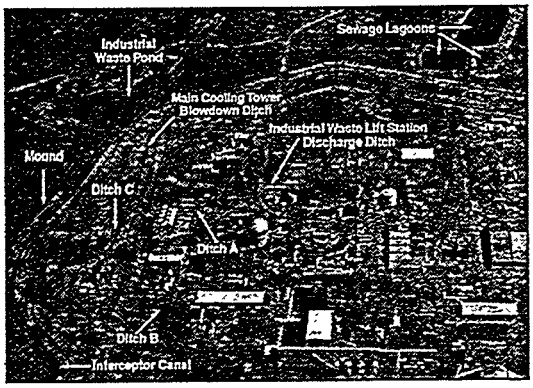
Uptake and Fate of Chlorinated Organics

- A new, improved and faster method was developed to determine degradation products in plant tissue
- Degradation of TCE and PCE was observed in hybrid poplar and willow.

Biotreatment of Produced Waters by Halophytes

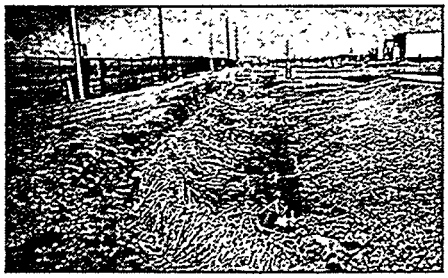
- Salt tolerant plants (halophytes) were selected and tested for volume reduction of salt brines from oil and gas production.
- Field tests conducted at an oil production site in Oklahoma confirm greenhouse data of 75% volume reduction in less than 8 days by evapotranspiration by halophytes.

Argonne-West Phytoremediation Bench Scale Testing



- 2 sites at ANL-W contaminated with radionuclides, and 5 with inorganics need remediation
- RI/FS for ANL-W OU 9-04 at INEEL recommends phytoremediation as the preferred remediation method, contingent on results of bench scale testing.

Current Work



- ANL is conducting bench scale testing on a soil contaminated with ^{137}Cs and another with inorganics (As, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn).
- Testing on other soils will be conducted after reviewing obtained data.
- Field testing is planned for fall 1998

Contact Information

M. Cristina Negri
Argonne National Laboratory,
Energy Systems Division
9700 S. Cass Ave, ES-362
Argonne, IL 60439
tel +1 630 252 9662
fax +1 630 252 9281
email: negri@anl.gov

Dr. Donald O. Johnson
Argonne National Laboratory,
Energy Systems Division
9700 S. Cass Ave, ES-362
Argonne, IL 60439
tel +1 630 252 3392
fax +1 630 252 7288
email: don_johnson@qmgate.anl.gov

OVERVIEW OF ONGOING PROJECTS

Biomass Valorization and Remediation of Contaminated Land: Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

A. Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

ABSTRACT

No abstract was submitted for this paper.

ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

Валоризация биомассы и восстановление загрязненной земли: Обзор совместных международных проектов с участием Института Энергетических Проблем

А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

ВЫДЕРЖКИ

Biomass and Bioenergy: Chornobyl Remediation Options

Ralph Overend
National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

ABSTRACT

The United States is the major user of biomass and bioenergy in North America. It also supports a research, development, and demonstration (RD&D) program for modernizing biomass systems to meet the needs of the 21st century. Biomass and bioenergy play a major role in greenhouse gas mitigation and in rural and economic development. The potentials for carbon offsets by 2010 are forecast at 35 to 40 Mt of carbon, from co-firing biomass in coal-fired generating stations, adopting integrated gasification combined cycle systems in the co-generation systems of the pulp and paper industry, and using cellulosic ethanol in transportation. The programs underway include research and development of power and liquid-fuel systems, demonstrations of advanced technologies, development of dedicated feedstocks, and deployment of integrated crop and electricity production systems.

The United States uses about 2.8 EJ (exajoules [10^{18} joules]) of biomass and bioenergy, representing about 3.2 percent of primary energy consumption. Biomass serves four primary market sectors in North America: 1) residential heating and cooking needs, 2) the process-energy requirement of biomass industries, e.g., pulp and paper, wood processing, and the sugar industries, 3) electricity production, and 4) transportation fuels. Although the still large traditional usage in the residential sector is diminishing, the biomass industries are looking to increased efficiency of transformation and an expansion of the production of combined heat and power (CHP). Liquid fuels for transportation come mainly from corn in the United States, where there is also an increasing emphasis on producing electricity from biomass.

BIOMASS AND BIOENERGY STATISTICS AND TRENDS

The 1995 consumption and applications of biomass are shown in the following table for the United States. Generally, the consumption of biomass for residential heating and cooking has decreased because it is not a very convenient fuel. The exception is the United States and Canadian pellet fuels industry in which there is growing output of mainly wood-derived pellets used in high-efficiency specialized combustors in residential and commercial installations. Production for the 1996-1997 heating season in the United States and Canada was about 620 kilotonnes (kt), or about 10.8 PJ (petajoules [10^{15} joules]), a significant increase over the 1993-1994 figure of 475 kt. The growing sectors are the CHP markets, the direct generation of electricity, and the production of liquid fuels. Electricity and liquid fuels represent modern applications of biomass and bioenergy, are the areas in which most growth has occurred during the past few years, and are the major areas of RD&D being undertaken in the United States. These and feedstock development are the central thrusts of biomass and bioenergy development, which addresses not only energy, but also greenhouse gas mitigation and rural development.

MAJOR DEVELOPMENT AND DEPLOYMENTS IN THE UNITED STATES

Liquid Fuels: The most important liquid fuel is ethanol; biodiesel makes a much smaller contribution. The current production of ethanol is almost all from cereals—mostly maize—and is

used in blends with gasoline as an oxygenate under the provisions of the Clean Air Act. Research and development in the production of ethanol from lignocellulosics has been supported for many years. The National Renewable Energy Laboratory (NREL), a major alternative fuels user facility with a unique 1-ton/day pilot plant process development unit (PDU), supports industrial applications of ethanol from biomass technology. The PDU has full pretreatment, continuous fermentation, and downstream processing capabilities, including four 9,000-liter fermentors, a Sunds pretreatment reactor, and a 40-foot distillation column. Partnerships are in place with several industrial firms to apply the technology commercially. NREL has designated its Biotechnology for Fuels and Chemicals Center to provide a focal point for technology advancement and application in the biotechnology and bioprocessing arenas.

Several projects for moving the conversion of lignocellulosics to the demonstration and production phase are underway. In 1998, BC International is expected to start the development of enzymatic conversion of bagasse in Jennings, Louisiana. Masada Resources is developing a project using concentrated acid municipal solid waste (MSW) hydrolysis to ethanol in Orange County, New York. BC International is also the owner/operator of the projected rice straw-to-ethanol plant in Gridley, California. And Arkenol is developing a rice straw conversion plant in conjunction with Sacramento Municipal Utility District (SMUD) in Sacramento, California.

Electricity: The biomass power systems group has three major areas of technology development and a major integrated systems development and demonstration program underway. The three major technology areas are 1) the development of advanced integrated gasification and combined cycle (IGCC) systems based on the Institute of Gas Technology (IGT) and Battelle Columbus Laboratory technologies, 2) co-firing in utility stations with coal, and 3) small and modular systems development. The latter is a new program initiative for FY 1998 and will address the role of distributed generation from biomass in the context of deregulating the U.S. utility system. Co-firing is a very near-term opportunity that has a very high potential for cost-effective carbon offsets at very little technical risk in the conversion technology and creates the market pull for the developing robust and sustainable feedstock supply systems. The potential for this avenue and for gasification systems is discussed below.

Gasification Technologies: Two major systems are now being supported in joint industry and government demonstration projects: the IGT Renugas® pressurized air/oxygen gasifier and the Battelle indirect gasification system. The Renugas® 45-90 ton/day engineering development unit operates at 1-2 MPa using bagasse as feed and is located at the HC&S sugar mill at Paia, Maui, Hawaii. It is currently being operated by Westinghouse to test its high-temperature ceramic filters in a hot-gas cleanup unit. The Battelle system is being scaled up by its licensee Future Energy Resources Co. (FERCO) in Vermont. The product gas from this 200-ton/day unit is co-fired in the Burlington Electric Department's Joseph C. McNeil Station, a 50-MW_e traveling grate wood-fired boiler. The initial gasifier power output will be 8 MW_e. The second phase will demonstrate the use of the medium calorific value product gas in a gas turbine of about 8 MW_e capacity and continue to produce about 4 MW_e by means of cofiring with wood in the boiler, resulting in a total of 12 MW_e.

Integrated Systems: A competitive procurement, "Biomass Power for Rural Development," Solicitation No. DE-PS36-95GO10052, was issued in late December 1994. This collaborative effort between DOE, the United States Department of Agriculture (USDA), and industry is designed to exploit near-term niche market opportunities for integrated biomass feedstock conversion and power-production systems. Three initial awards (projects) were made.

(1) Chariton Valley Cofiring Project. This comprises a switchgrass dedicated feedstock project providing 35 MW co-fire with coal in an existing power plant.

(2) Minnesota Agri-Power Project (MnVAP). In this integrated opportunity, alfalfa leaf is separated from the stalk used as fuel for a 75-MW gasification combined cycle plant.

(3) New York Salix Project. This will produce willow as a dedicated feedstock for co-firing with coal in two New York utilities, Niagara Mohawk (NIMO) and New York State Electricity and Gas (NYSEG).

APPLICATIONS TO THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Since export of wood products from the zone is not allowed, the transformation into heat and power for internal use in the zone is the most obvious of the potential applications of biomass conversion technology. Existing fixed or fluidized bed combustion systems, with steam generation and a turbine generator, are commercially available. Gasification systems, such as the IGCC systems described above, will also be available commercially by the year 2000.

Liquid fuels production is an option; however, the technology is not yet available commercially and has the potential to generate liquid effluent streams that require processing before being returned to the environment. Compared with a dry-ash system from combustion or gasification technologies, this is an additional level of complication and investment that will need to be carefully assessed in the context of treating these effluents with radioactive contaminants.

Biomass Energy in North America (IEA data for 1995)
(units are petajoules [10^{15}Joules])

Supply:	
Solid Biomass	2401
MSW	270
Gas + Liquids	156
Total Supply	**2827**
End-Use:	
Transfers	82
Electricity + CHP	1595
Pulp & Paper	217
Wood Products	261
Food Sector	0
Transportation	31
Commercial	45
Residential	597
Total End-Use	**2827**

END NOTE

The activities and programs described in this paper are constantly evolving, and interested readers can follow updated information on the World Wide Web sites listed below.

DOE Biomass Power: *http://www.eren.doe.gov/biopower/*
DOE/Office of Utility Technology (OUT): *http://www.eren.doe.gov/utilities/*
DOE/ Office of Transportation Technologies (OTT): *http://www.ott.doe.gov/*
DOE/Office of Industrial Technology (OIT): *http://www.oit.doe.gov/*
Oak Ridge National Laboratory's BFDP: *http://www.esd.ornl.gov/bfdp/*
National Renewable Energy Laboratory (NREL): http://www.nrel.gov/

ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

Обзор проектов Национальной Лаборатории Возобновляемой Энергии

Ральф Оверенд
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии, Голден, штат Колорадо

ВЫДЕРЖКИ

Соединенные Штаты Америки являются основным потребителем биомассы и биоэнергии в Северной Америке. Страна также оказывает поддержку исследовательской, разработческой и демонстрационной программе по модернизации использующих биомассу систем с целью удовлетворения потребностей 21го века. Биомасса и биоэнергия играют главнейшую роль в снижении содержания вызывающих тепличный эффект газов и в сельском и экономическом развитии. Потенциальное снижение потребления углерода к 2010 году прогнозируется в пределах от 35 до 50 Мт в результате работы вырабатывающих станций, работающих на двойном топливе в виде угля и биомассы, введения систем с интегрированным комбинированным циклом газификации и системах с производством тепловой и электрической энергии в целлюлозно–бумажной промышленности и в результате использования получаемого из целлюлозы этанола в качестве топлива для транспорта. Проводимые программы включают в себя исследование и разработку энергетических и жидкотопливных систем, демонстрации передовых технологий, развитие специально предназначенных для получения биомассы источников и развертывание интегрированных систем по выращиванию культивируемых растений и выработке энергии.

Соединенные Штаты Америки потребляют примерно 2,8 ЭДж биомассы и биоэнергии, что представляет приблизительно 3,2 процента потребления энергии от первичных источников. Биомасса обслуживает четыре основных рыночных сектора в Северной Америке: 1) потребности обогрева и приготовления пищи жилищного сектора, 2) энергетические потребности работающих с биомассой отраслей промышленности, к примеру целлюлозно–бумажной, деревообрабатывающей и сахарной промышленности, 3) выработку электроэнергии и 4) производство топлива для транспорта. Несмотря на то, что остающееся пока большим потребление в жилищном секторе сокращается, работающие с биомассой отрасли промышленности стремятся к повышению эффективности преобразования и к расширению производства комбинированной тепловой и электрической энергии. В Соединенных Штатах Америки, где также придается все большее значение производству электроэнергии из биомассы, жидкие виды топлива для транспорта в основном производятся из кукурузы.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО БИОМАССЕ И БИОЭНЕРГИИ И ТЕНДЕНЦИИ В ЭТОЙ ОБЛАСТИ

Потребление и применение биомассы в Соединенных Штатах Америки в 1995 году представлены в приведенной ниже таблице. В целом, потребление биомассы для обогрева и приготовления пищи в жилищном секторе снизилось в силу того, что биомасса является не очень удобным топливом. Исключение представляет собой в Соединенных Штатах

Америки и Канаде отрасль, занимающаяся производством гранулированного топлива, в которой наблюдается растущий объем выпуска получаемых преимущественно из древесины гранул, применяющихся в высоко эффективных специализированных топочных камерах в жилищном и коммерческом секторе. Производство во время сезона обогрева 1996 – 1997 гг. в Соединенных Штатах Америки и Канаде составили примерно 620 килотонн (кт), или же приблизительно 10,8 ПДж, существенный прирост по сравнение с 475 кт в 1993 – 1994 гг.. Растущими секторами являются рынки комбинированного производства тепловой и электрической энергии, прямая выработка электроэнергии и производство жидких видов топлива. Выработка электроэнергии и производство жидких видов топлива представляют собой современные виды утилизации биомассы и биоэнергии и являются областями, в которых за последние несколько лет произошел наибольший рост и где в Соединенных Штатах Америки ведутся основные исследовательские, разработческие и демонстрационные работы. Эти области и развитие источников потребляемой биомассы служат основными движущими силами разработок в сфере биомассы и биоэнергии, которые обращаются к решению не только энергетических вопросов, но и занимаются снижением содержания вызывающих тепличный эффект газов и сельским развитием.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПУТИ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ АМЕРИКИ

Жидкие виды топлива: Наиболее важным жидким топливом является этанол; биодизельное топливо составляет значительно меньшую часть. В настоящее время этанол производится почто полностью из злаковых растений, преимущественно маиса, и применяется в смеси с бензином в качестве оксигенатора согласно положениям Закона по чистоте воздуха. Исследования и разработка производства этанола из лигноцеллюлозы пользовались поддержкой на протяжении многих лет. Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии, основной объект, потребляющий альтернативные виды топлива, с уникальным перерабатывающим блоком опытно–экспериментальной станции производительностью 1 тонна в день, оказывает помощь промышленным применениям этанола, полученного в результате технологии с использованием биомассы. Перерабатывающий блок в состоянии проводить полную предварительную обработку, непрерывную ферментацию и последовательную переработку сырья, и имеет в наличии четыре ферментера на 9.000 литров, реакционный аппарат предварительной обработки и дистилляционную колонну в 40 футов. Налажены партнерские отношения с несколькими промышленными фирмами для коммерческого применения технологии. Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии определила своему Центру биотехнологии по производству топлива и химических веществ роль места разработки передовых технологий и их применения в области биотехнологии и биопереработки.

Осуществляются несколько проектов по переводу преобразования лигноцеллюлозы в фазу демонстрации и производства. Ожидается, что в 1998 году компания BC International начнет разработку ферментного преобразования багасса в городе Дженингс штата Луизиана. Компания Masada Resourses ведет разработку проекта по использованию переработки гидролизом концентрированной кислотой городских твердых отходов в этанол в округе Ориндж штата Нью–Йорк. Компания BC International является также владельцем и оператором проектируемого предприятия по переработки рисовой соломки

в этанол в местечке Гридлей штата Калифорния. А компания Arkenol разрабатывает предприятие по переработке рисовой соломки совместно с Городским коммунальным округом в городе Сакраменто штата Калифорния.

Электричество: Группа систем преобразования биомассы в энергию имеет три основных области проведения технологических разработок, разработки основных интегрированных систем и демонстрационных программ. Тремя основными областями технологии являются 1) разработка передовых систем интегрированной газификации и комбинированного цикла, основывающихся на технологиях Института Газовых Технологий и Лаборатории Баттелл Колумбус, 2) коммунальные электростанции на смешанном топливе с углем и 3) разработка малых и модулярных систем. Последнее представляет собой начинание по новой программе на 1998 финансовый год и обратится к роли распределенной выработки энергии из биомассы в контексте отмены государственного регулирования системы коммунального хозяйства в США. Работа на смешанном топливе является очень близкой к осуществлению возможностью в области технологии преобразования, обладающей высоким потенциалом эффективного по стоимости снижения потребления углерода при очень невысоком техническом риске и создающей рыночный толчок к разработке сильных и способных к самостоятельному существованию систем источников сырьевой биомассы. Ниже обсуждается потенциал такого пути и систем газификации.

Технологии газификации: В настоящее время в совместных демонстрационных проектах между промышленностью и правительством пользуются вниманием IGT Renugas и система непрямой газификации Баттелла. Опытно–экспериментальный блок Renugas на 45 - 90 тонн в день работает при 1 - 2 МПа с использованием багасса в качестве топлива и располагается на сахарозаводе HC&S в местечке Пайя острова Мауи Гавайского архипелага. Его эксплуатация ведется в настоящее время компанией Westinghouse с целью испытания высокотемпературных керамических фильтров в агрегате очистки горячих газов. Система Баттелл воспроизводится в более крупном масштабе обладателем лицензии на нее, компанией Future Energy Resources Co. (FERCO), в штате Вермонт. Вырабатываемый газ от блока производительностью 200 тонн в день используется в качестве дополнительного топлива на станции Joseph C. McNeil департамента по электроэнергии города Берлингтон в колосниковом котлоагрегате на 50 $МВт_e$, работающем на древесине. Начальная выходная мощность газификатора составит 8 $МВт_e$. Второй фазой станет демонстрация использования вырабатываемого газа средней теплотворности в газовой турбине мощностью приблизительно в 8 $МВт_e$ и продолжение выработки 4 $МВт_e$ путем совместного сжигания с древесиной в котлоагрегате, давая в общем итоге 12 $МВт_e$.

Интегрированные системы: В конце декабря 1994 года был выпущен заказ на конкурентное размещение заказа «Преобразование биомассы в энергию для целей сельского развития» за № DE–PS36–95GO10052. Эта работа, проводимая совместно Министерством Энергетики США, Министерством Сельского Хозяйства США и промышленностью, предназначена для изучения близких рыночных возможностей для систем интегрированного преобразования источников биомассы и выработки энергии. Были сделаны первых три заказа (проекта).

(1) Проект по смешанному топливу на станции Chariton Valley. Представляет собой

проект с использованием специально культивируемой покосной травы, обеспечивающий выработку 35 МВт на смешанном топливе на существующей электростанции.

(2) Проект в штате Миннесота Agri–Power. В ходе этой работы листва люцерны отделяется от стебля, используемого в качестве топлива для станции газификации с комбинированным циклом на 75 МВт.

(3) Проект в штате Нью–Йорк Salix. Будет заниматься выращиванием ивы в качестве культивируемого сырья для работы на смешанном с углем топливе двух коммунальных предприятий в штате Нью–Йорк, Niagara Mohawk (NIMO) и New York State Electricity and Gas (NYSEG).

ПРИМЕНЕНИЕ К ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

Поскольку экспорт древесной продукции из зоны не разрешен, то преобразование в тепловую и электрическую энергию для внутреннего потребления в зоне является наиболее очевидным потенциальным применением технологии преобразования биомассы. Коммерчески доступны существующие системы фиксированного сжигания и сжигания в псевдоожиженном слое с выработкой пара и турбогенератором. Системы газификации, такие как описанные выше системы интегрированной газификации с комбинированным циклом, станут также коммерчески доступными к 2000 году.

Производство жидких видов топлива представляет собой вариант; однако технология еще пока не доступна коммерчески и обладает вероятностью создания потоков жидких сбросов, требующих обработки до их выпуска в окружающую среду. По сравнению с системами на сухой золе от технологий сжигания или газификации, это является дополнительным осложнением и требует дополнительных инвестиций, что потребует тщательной оценки в плане обработки этих сбросов с радиоактивными загрязнениями.

Энергия в виде биомассы в Северной Америке (данные IEA за 1995 год)
[указано в ПДж (10^{15} Джоулей)]

Источник:	
Твердая биомасса	2401
Городские тверд. отходы	270
Газ + Жидкости	156
Всего источников	**2827**
Конечное использование:	
Переходы	82
Электр. + комбин. энергия	1595
Целлюлоза и бумага	217
Древесная продукция	261
Пищевой сектор	0
Транспорт	31
Коммерческий	45
Жилищный	597
Всего конеч. Пользован.	**2827**

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ

Работы и программы, описанные в настоящем документе, постоянно развиваются, поэтому заинтересовавшиеся читатели могут обращаться за более свежей информацией к страницам на Интернете, адреса которых приводятся ниже.

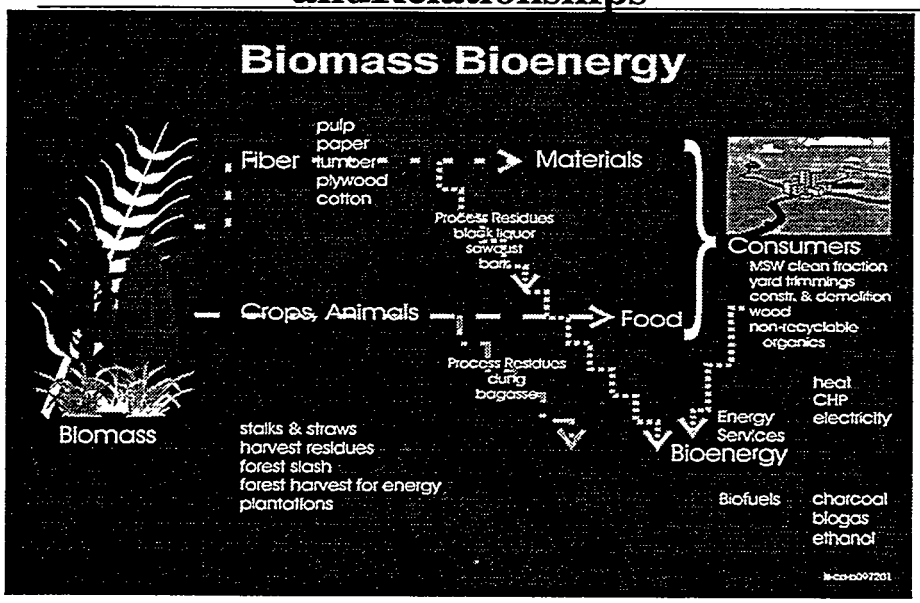
Министерство Энергетики США, Преобразование биомассы в энергию: *http://www.eren.doe.gov/biopower/*
Министерство Энергетики США / Офис коммунальных технологий: *http://www.eren.doe.gov/utilities/*
Министерство Энергетики США / Офис транспортных технологий: *http://www.ott.doe.gov/*
Министерство Энергетики США / Офис промышленной технологии: *http://oit.doe.gpv/*
BFDP Окриджской Национальной Лаборатории: *http://www.esd.ornl.gov/bfdp/*
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии: *http://www.nrel.gov/*

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options

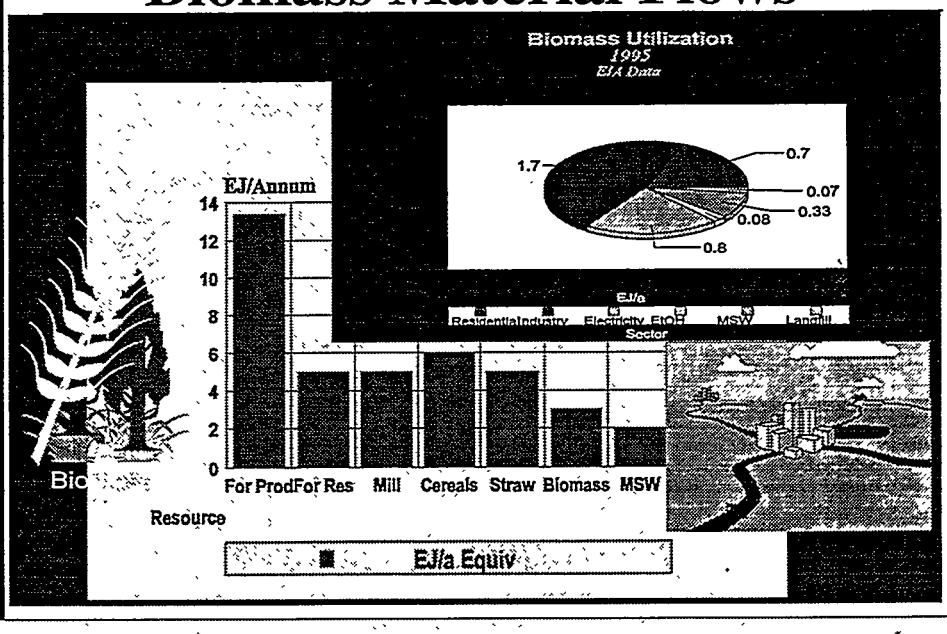
Ralph P. Overend

NREL

Biomass and Bioenergy Material Flows andRelationships



Biomass Material Flows

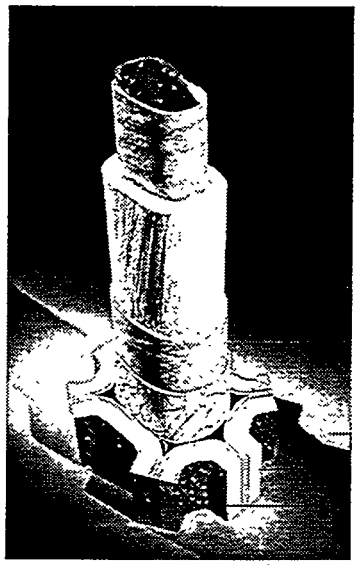


Lignocellulosic Conversion

- Two main routes
  - Thermochemical
    - combustion for heat, power, combined
    - gasification for CHP, syngas conversion
    - methanol, methane, ammonia, liquid fuels, hydrogen
    - pyrolysis for CHP, adhesives, plastics
  - Biological or fermentations
    - ethanol, acetone, butanol, hydrogen

The Lignocellulosic Matrix

- Like a radial tire
  - An outer black lignin rich sheath
  - Hemicellulose
  - Cellulose fibers
  - Lumen coated with metabolic products
    - protein
    - salts and electrolytes



Thermochemical Systems

- Combustion
  - plant derived ash is fly-ash
  - also bottom ash from soil
  - high temperatures can volatalize K
- Gasification/Pyrolysis
  - plant derived ash is contained in char
  - gas volumes to be processed lower
  - high efficiency filtration demonstrated
- Mineral matter creates high temperature problems

Biological Systems

- Lignocellulosics need pretreatment
  - acid, solvent, steam
- Fermentation mostly in dilute solution
  - typical ratio solid:liquid 5:95
  - exception solid state MSW digestion
- Liquid effluent
  - requires treatment for BOD/COD
  - mineral matter solubilized
  - recovery difficult - used for irrigation

NREL

Composition of Lignocellulosic Biomass

Cellulose 38%
Hemicellulose 32%
Lignin 17%
Other 13%

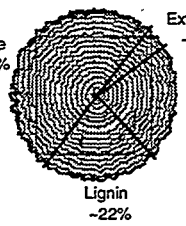
Agricultural Residues

Cellulose 45%
Hemicellulose 30%
Lignin 15%
Other 10%

Herbaceous Energy Crops

Other ~22%
Metal ~10%
Food and yard waste ~13%
Wood ~2%
Plastics and textiles ~7%
Paper ~46%

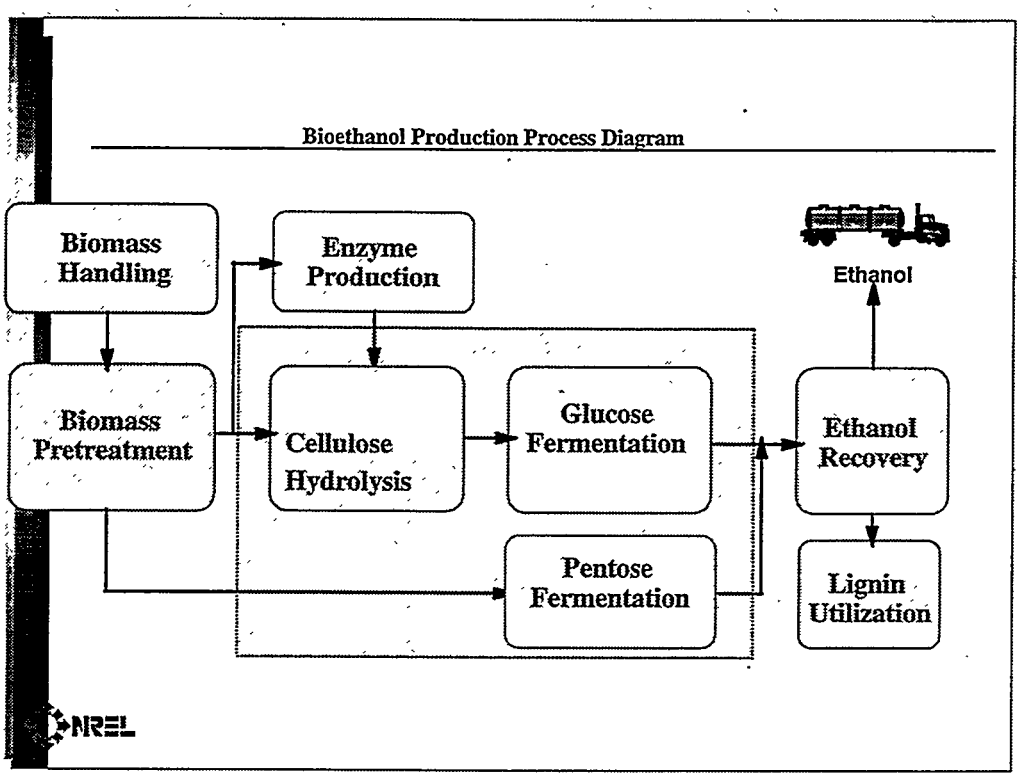
Municipal Solid Waste

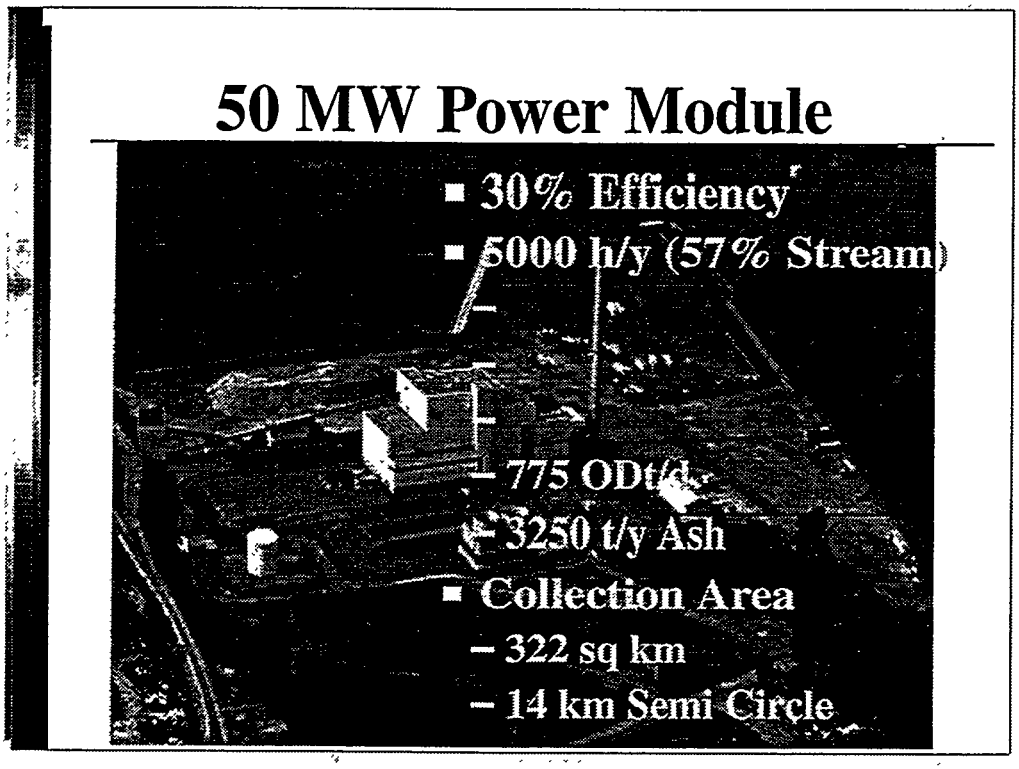


Cellulose ~50%
Extractives ~5%
Hemicellulose ~23%
Lignin ~22%

Underutilized and Short Rotation Hardwoods

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

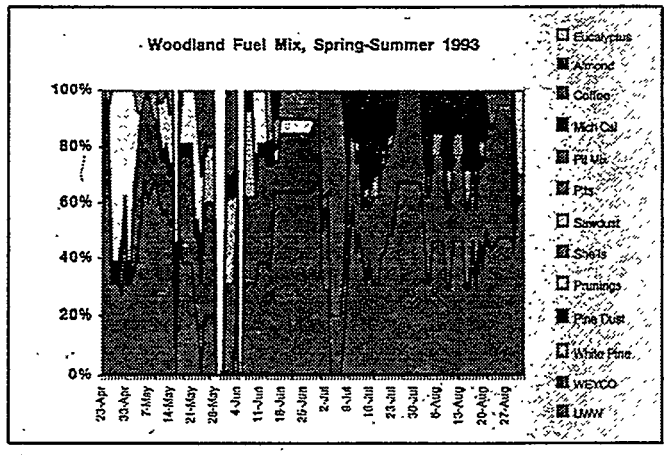




Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

Low-cost Generation = Fuel Diversity

Calls for Biomass Shed for Resource Management



OMNIVOROUS CONVERSION SYSTEMS?

Biomass Power Lessons Learned

- Biomass is NOT/NOT Biomass
  - many different materials are biomass
    - bark and clean wood chips
    - forest residues
    - urban wood waste
    - cereal straws
    - clean fraction of MSW
    - food processing wastes
    - Landfill gas

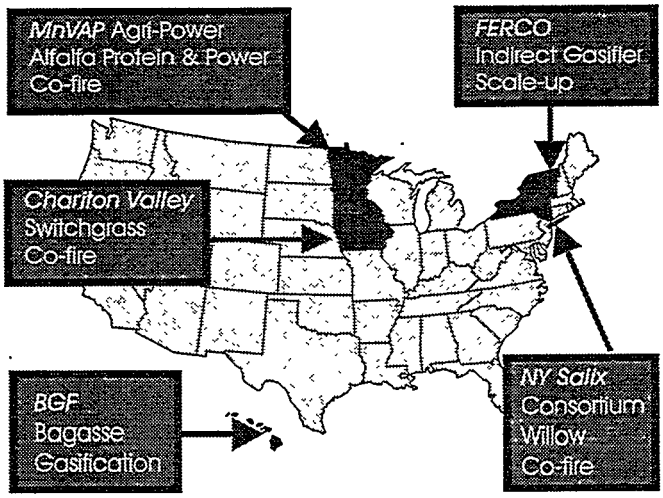
Biomass Power Lessons Learned

- **Success = Having a Supply Curve**
  - In the PURPA era the classic "tragedy of the commons" replayed!
  - Need to have a resilient supply base
  - accommodate seasonal and market changes in resource base - quantity/quality
- **Role of DFSS in expansion of Biomass Power**
  - stabilizes supply (Quantity and Price) enables scale economies

Development Strategy

- **Assure low cost reliable biomass supplies**
  - **develop fuel shed concept**
  - **Feedstock collaboratives/brokers**
  - **develop DFSS**
- **Improve efficiency and cost of conversion technologies**
  - **main power strategy is to convert clean coal technologies into biomass**
  - **Use Co-firing to build infrastructure**

Major Biomass Power Project Sites



Biomass Gasification Facility

DOE Partners

Westinghouse Electric Corp.
State of Hawaii
IGT
PICHTR
HC&S
HNEI

Project Details

100 tpd Bagasse
Fluidized Bed - 2 Mpa

Status: Operational
Testing HGCU

HC&S Mill Paia, Maui, Hawaii

Indirect Gasification System Scale-up

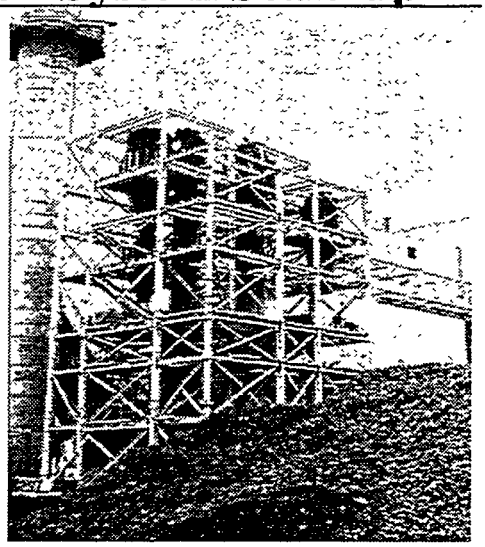
DOE Partners

FERCO
Burlington Electric Dep.
Battelle Laboratories
Weyerhaueser Co.

Project Details

200 tpd Wood Chips
Twin Fluidized Bed
Indirect Gasification
0.1 MPa

Status: Gasification trials underway

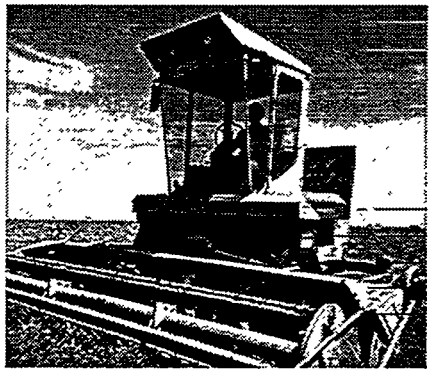


McNeil Station (BED), Burlington, Vt.

Minnesota Agri-Power Project (MnVAP)

DOE Partners:

Minnesota Valley Alfalfa Producers
Northern States Power
Westinghouse Electric Corp.
Stone & Webster
City of Granite Falls
Carbona
University of Minnesota
IGT
USDA



Project Details:
Alfalfa, 2000 tons/day: 75 MW
Gasification Combined Cycle
Products: Electricity, Animal Feed

Power Contract Awarded Jan 1998

Chariton Valley Co-firing Project

DOE Partners:

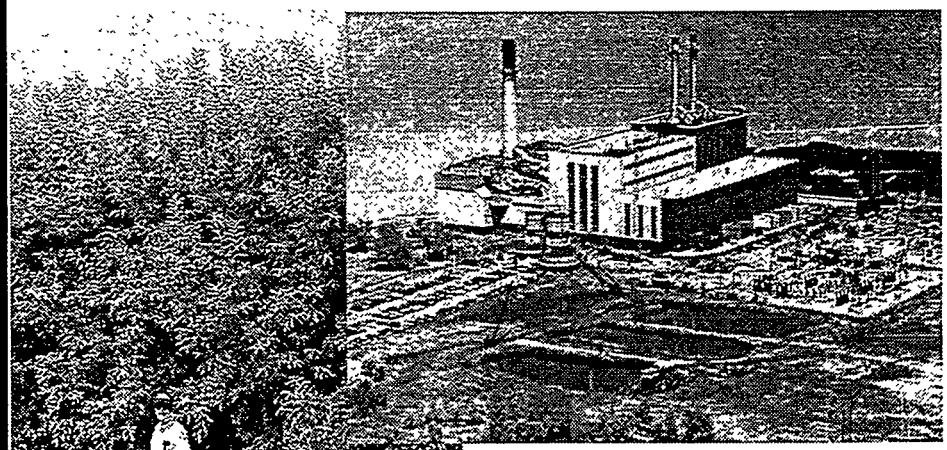
Chariton Valley RC&D
IES Utilities
Local Farmers & Landowners
Iowa Farm Bureau Federation
Iowa State University
R.W. Beck (Engineering Firm)
Iowa Dept. of Natural Resources
Iowa Division of Soil Conservation
Soil and Water Conservation Districts
Biofuels Corp.
Energy Products of Idaho
Energy Research Corp.
ABB/CES

Location: south-central Iowa

Project Details

35 MW cofiring, 5-6 MW gasification
Co-firing, Gasification, Fuel Cells
Wood Residues, Switchgrass 16 kha

The Salix Project



SUNY, and Dunkirk, NY.

Salix Consortium Goals And Objectives

- Goal: Commercialize willow feedstock production system for power generation with coproducts by 2002
- Feedstock Objectives
  - Attain average yields above 15 t/ha.a
  - Demonstrate production costs under $20/dry ton at farm gate
- Power Project Objectives
  - Demonstrate automated and reliable feed systems for cofiring and ultimately gasification
  - Determine operating conditions that offer NOx reductions
  - Demonstrate costs (O&M and Fuel) under 30 $/MWh

SALIX CONSORTIUM Phased Approach

Phase 1 - Final design & project development at 2 Sites complete. Greenidge now co-firing residues. 200 ha of cooperators.

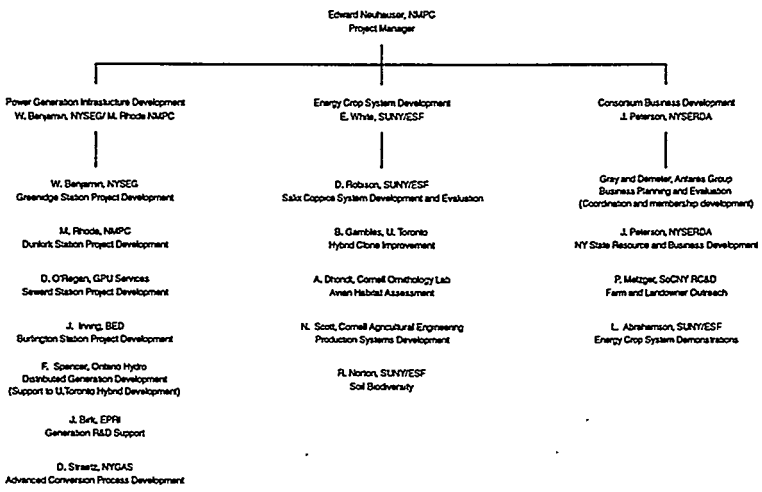
Phase 2 - Dunkirk conversion and crop production systems demonstration

Phase 3 - Commercial - initially 25 to 50% willow in fuel mix moving toward dedicated operations by 2010

SALIX CONSORTIUM Phase 1 Milestones

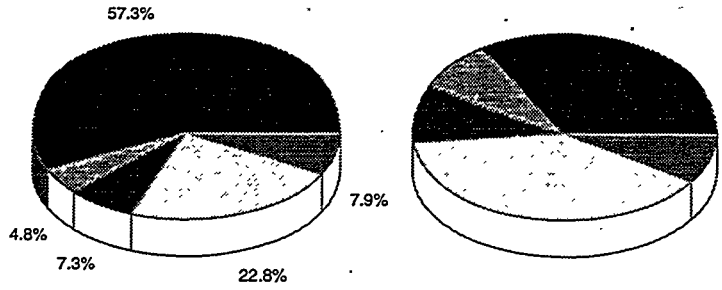
- Project Development
  - Co-fire design optimization
    - Greenidge and Dunkirk
  - Dunkirk fuel supply plan
- System Development Plans
  - Risk management plan
  - System optimization and experimental studies

Salix Consortium Organization



SALIX CONSORTIUM
Project Funding

$2.8 Million $10.6 Million



Phase 1 Phase 2

Power Companies R&D Agencies Universities, RC&D DOE USDA

Environmental Considerations

- Benefits
  - Near zero net CO2
  - Very low sulfur
  - Low ash with beneficial ag uses
  - Biosolids recycling opportunity
  - Stream and water resources protection
  - Less intensive cultivation and maintenance than traditional crops
- Issues
  - Biodiversity
  - Habitat protection
  - Landscape ecology

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

Economics

- Benefits
  - New crop with added value to farmers
  - Regional income and taxes
  - Rural revitalization
  - Local job creation
  - Reduced power production costs
  - Reduced farm subsidies
- Issues
  - Closing the price gap between willow and coal
  - Tax treatment of agriforestry
  - Will introductory subsidies be neccessary
  - Optimization of product streams

Business Opportunities

- Opportunities for Farmer and Power Developer Entrepreneurs
  - Partnerships with industry - waste utilization, cogeneration, coproducts for industy
  - Capturing added value income for farmers and power producers
  - Developing idle farmland - new crops and income stream
  - Capturing environmental values for CO2 reduction
  - Tapping into niche markets domestically and internationally
- Issues
  - Capital sources, risks and returns
  - Coal prices very soft
  - Advanced conversion cycles must be proven

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

Salix Research and Development Issues

- Crop Development
  - prove planting and harvesting system technology
  - environmental issues - biodiversity, habitat assessment
  - evaluate use of biosolids - alternative fertilizers
  - demonstrate consistent high yields and pest resistance
- Power Conversion
  - ash quality
  - material handling systems
  - size and moisture reduction methods
  - economic retrofits for cofiring
  - prove gasification technology
  - storage systems and management

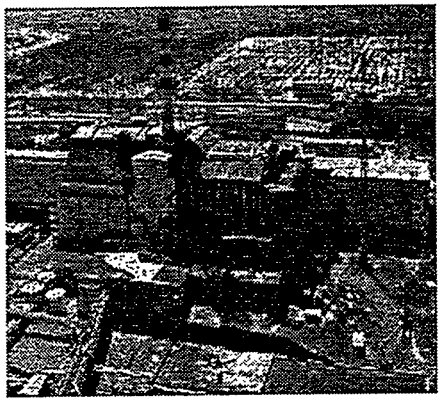
Bioremediation or Dilution Removal

- Few plants concentrate Cs or Sr
  - Why
  - They are congeners of
  - K and Ca
  - Follow same pathways
  - Evidence
    - 1950 Atmospheric Deposition
    - Fallout from weapons tests
- K is essential to plant growth
  - highly soluble

Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

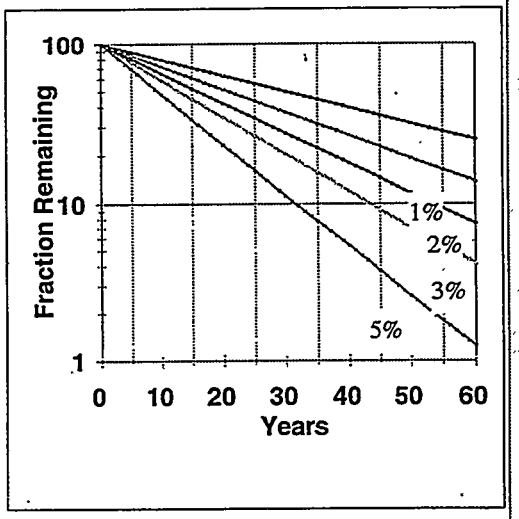
Cs/Sr Model Contamination Removal by 2 Methods

- radioactive decay
- dilution/subtraction
  - exchange of nutrients to soil/water layer
  - well mixed model
- soil amendments to adjust pH, maintain productivity, and exchangeable cations



Dilution and Radioactive Decay Combined

- Radioactivity
  - 30 year half life
- Dilution
  - with replacement
  - Soils have
  - 250 kg/ha K
  - exchangeable



Biomass and Bioenergy Chornobyl Remediation Options
Ralph Overend

Dilution Issues

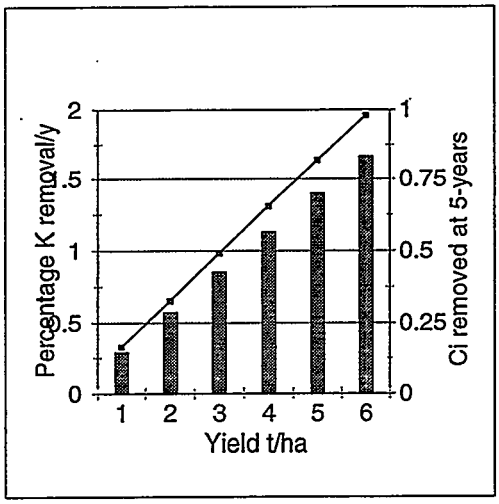
- Key is to grow biomass rapidly
- K and Ca are bulk nutrients
  - These and other nutrients: N&P, trace elements have to be replenished to maintain growth
- Energy Conversion system has to
  - isolate inorganic components safely
- Current B & B systems minimize ash
  - reduces commercial fertilizer costs
  - avoids fouling-slagging and disposal cost

Minerals in Annuals and Perennials

- Annuals
  - high in ash e.g. wheat straw at 5 - 8%
  - annual soil tillage and disturbance
  - 3rd quarter harvest and storage
- Perennials
  - low in ash e.g. Pine and Aspen *ca.* 1%
  - regrowth from roots or rhizomes
  - soil disturbance only on replanting
  - longer harvest season

Potassium Removal as a Function of Biomass Yield

- %K in Aspen
  - 0.09
- 5 year harvest
  - with replacement
  - 250 kg/ha K
  - exchangeable
- Contamination
  - 10 Ci/ha



OVERVIEW OF ONGOING PROJECTS

Overview of Brookhaven National Laboratory Initiatives for Proliferation Prevention (IPP) Projects

Paul Kalb
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

ABSTRACT

Twelve years after the infamous Chornobyl nuclear accident, the Republic of Belarus is still living with the consequences and is faced with a monumental environmental cleanup. Under sponsorship of the DOE Initiatives for Proliferation Prevention (DOE IPP), Brookhaven National Laboratory (BNL) has teamed with the Institute of Power Engineering Problems in Belarus on three Thrust I initiatives to provide technical assistance for the planning and actual cleanup of Chornobyl contaminated waste. These activities include investigation of thermoplastic encapsulation of ash resulting from the combustion of contaminated wood, the use of phytoremediation for the removal of radionuclides from the soil, and the evaluation of baseline risks associated with leaving contamination in place. Each of these projects has progressed smoothly and resulted in numerous published reports and papers presented at relevant scientific conferences. Discussions are being held with potential commercial partners for possible Thrust II projects. The ash encapsulation activity is described in a separate self-standing abstract, and the other two activities are described here.

Approximately 19,000 km^2, including forest and cleared land in Belarus, were contaminated by fallout from Chornobyl to levels in excess of 5 Ci/km^2. Primary contaminants are ^{137}Cs and ^{90}Sr. The Institute of Power Engineering Problems (IPEP) in Belarus and Sandia National Laboratory (SNL) in the United States are evaluating biomass conversion of trees and forest litter to remediate contaminated forest regions. Methods that could be considered for crop lands and other small areas of contaminated soil (e.g., soil washing) are not practical over such extensive areas. One approach that may be feasible is phytoremediation, i.e., the use of plants to remediate the soil. This concept is based on the fact that plants will take up elements from the soil, including contaminants, and retain them in their tissue. The ^{137}Cs and ^{90}Sr behave chemically as if they were potassium and calcium, respectively, and the plants are unable to distinguish these radionuclides from the stable elements. Some plants, because of their nutritional requirements, take up more potassium or calcium than others. They would therefore be likely to take up more of the radionuclides as well. The ^{137}Cs from the Chornobyl fallout is generally retained in the surficial 10-20 cm of the soil, while ^{90}Sr may be distributed to somewhat greater depths. Nevertheless, most of the contamination is close to the surface of the soil. This means that it may be possible to use shallow rooted (~20 cm) annual plants to remediate the soil.

Three aspects of phytoremediation are important in determining if it is a viable technology for soil decontamination:

1. Can a sufficient mass of plant matter be grown on a site?

2. Can the plants sorb high enough concentrations of contaminants to make this technique technically and economically feasible?

3. Can the plants be harvested, volume reduced, and treated for disposal adequately?

The work currently being completed will help address these questions. By comparing results with similar phytoremediation efforts conducted at BNL, it will also provide a greater understanding of the applicability of phytoremediation for use in the United States.

BNL's Risk Assessment project is aimed at providing training on risk-assessment methodologies and evaluating the health risks associated with exposure of forestry workers and the general public due to existing conditions. In a parallel effort funded through Sandia National Laboratory at their Livermore facility, risks that are associated with harvesting wood for use in an engineered biomass conversion facility and risks associated with operating the facility are being evaluated.

BNL staff provided training for IPEP staff on the use of RESRAD and RESRAD-BUILD, two computer codes commonly used in the United States for radiological risk assessment. These two codes were used by IPEP staff to evaluate the radiation exposure risks to the maximally exposed individual and the collective dose for five scenarios. The first four scenarios pertain to conditions as they now exist. The fifth scenario considers exposure due to waste management needs resulting from a biomass conversion facility.

1. Forestry workers performing standard forest management.
2. General public living in contaminated regions of Belarus.
3. Firefighters exposed during forest fires.
4. General public exposed due to the redistribution of contaminants from a forest fire.
5. Preliminary assessment of exposure risks due to disposal of contaminated material resulting from the use of a biomass conversion facility. This includes exposure during transportation of the wastes to the disposal site, handling of the wastes at the disposal site, and long-term exposure due to disposal.

ОБЗОР ПРОВОДИМЫХ ПРОЕКТОВ

Обзор проектов Брукхейвенской Национальной Лаборатории по инициативам предупреждения распространения

Пол Калб
Брукхейвенская Национальная Лаборатория, Аптон, штат Нью–Йорк

ВЫДЕРЖКИ

Двенадцать лет спустя после печально знаменитой Чернобыльской ядерной аварии Республика Беларусь все еще живет с ее последствиями, и перед Республикой стоит монументального масштаба задача очистки окружающей среды. Под эгидой финансируемых Министерством Энергетики США Инициатив по предупреждению распространения, Брукхейвенская Национальная Лаборатория объединилась с Институтом Энергетических Проблем в Беларуси в работе над тремя инициативами Доверие I (Thrust I) с целью предоставления технического содействия в планировании и проведении самой очистки загрязненных Чернобылем отходов. Эти работы включают изучение термопластического капсулирования золы, возникающей в результате сжигания загрязненной древесины, использование восстановления ши помощи растительности для удаления из почвы радионуклидов и оценку основных рисков, связанных с оставлением загрязнения на месте. Прогресс каждого из этих проектов шел беспрепятственно, что привело к ряду опубликованных отчетов и работ, представленных на соответствующих научных конференциях. С потенциальными коммерческими партнерами были проведены обсуждения на предмет возможных проектов Доверие II(Thrust II). Мероприятия по капсулированию золы описаны в отдельной, самостоятельной выдержке, а другие две работы описываются в данном тексте.

Приблизительно 19.000 км^2, включающих леса и открытые земли в Беларуси, подверглись загрязнению в результате выпадения радиоактивных осадков с Чернобыля до уровней, превышающих 5 Ки/км^2. Основными загрязняющими элементами являются ^{137}Cs и ^{90}Sr. Институт Энергетических Проблем в Беларуси и Национальная Лаборатория Сандия в Соединенных Штатах Америки проводят изучение преобразование состоящей из деревьев и лесной подстилки биомассы для восстановления загрязненных лесных площадей. Методы, которые могли бы рассматриваться для возделываемых земель и других малых территорий с загрязненной почвой (к примеру, промывание почвы) не представляются практически осуществимыми на таких обширных территориях. Одним подходом, который может быть осуществим, является восстановление при помощи растительности, т.е. применение растений для восстановления почвы. Этот принцип основывается на том факте, что растения поглощают содержащиеся в почве элементы, включая загрязняющие, и задерживают их в своих тканях. ^{137}Cs и ^{90}Sr ведут себя химически так же, как если бы они были соответственно калием и кальцием, и растения не в состоянии отличить эти радионуклиды от устойчивых элементов. Некоторые растения, в силу своих требований к питательным веществам, поглощают больше калия и кальция, чем другие. Поэтому они, наиболее вероятно, будут поглощать больше и радионуклидов. ^{137}Cs от Чернобыльских осадков обычно удерживается в поверхностных 10 - 20 см почвы, в то время как ^{90}Sr может распределяться на несколько большие глубины. Несмотря на это, большая часть загрязнений залегает близко к поверхности почвы. Это значит, что для восстановления

почвы возможно использование однолетних растений с неглубоко расположенной (≈ 20 см) корневой системой.

Для определения того, насколько жизнеспособной является технология для дезактивации почвы, важны три аспекта восстановления при помощи растительности:

1. Может ли выращиваться в этом месте достаточная масса растений?

2. Могут ли растения сорбировать достаточно высокие концентрации загрязняющих веществ для того, чтобы такой прием был технически и экономически осуществимым?

3. Могут ли растения убираться, их объем сокращаться и проводиться их адекватная переработка для захоронения?

Проводимая в настоящее время работа поможет дать ответы на эти вопросы. Проведение сравнения результатов со схожими работами по восстановлению при помощи растительности в Брукхейвенской Национальной Лаборатории поможет также лучше понять применимость восстановления при помощи растительности для использования в Соединенных Штатах Америки.

Проект Брукхейвенской Национальной Лаборатории по оценке риска направлен на проведении обучения по методологиям оценки риска и оценке рисков для здоровья, связанных с облучением работников лесного хозяйства и населения в результате существующих условий. Оценка рисков, связанных с рубкой древесины для использования на разработанном объекте преобразования биомассы, и рисков, связанных с эксплуатацией объекта, проводится совместными усилиями, финансируемыми через расположенную в Ливерморе Сандийскую Национальную Лабораторию.

Сотрудники Брукхейвенской Национальной Лаборатории проводят обучение работников Института Энергетических Проблем по использованию RESRAD и RESRAD–BUILD, двух расчетных компьютерных программ, обычно применяющихся в Соединенных Штатах Америки для оценки радиологического риска. Эти две расчетные программы используются работниками Института Энергетических Проблем для оценки рисков радиационного облучения для максимально подверженного человека и по коллективной дозе в пяти сценариях. Первые четыре сценария относятся к условиям существующим на сегодня. Пятый сценарий рассматривает облучение в результате необходимости обращения с отходами возникающими от объекта по преобразованию биомассы.

1. Лесные работники, занимающиеся обычным лесным хозяйствованием.

2. Население, проживающее в подвергшихся загрязнению регионах Беларуси.

3. Пожарники, подверженные облучению во время лесных пожаров.

4. Население, подверженное облучению в результате перераспределения загрязняющих веществ в результате лесных пожаров.

5. Предварительная оценка рисков облучения в результате захоронения загрязненного материала, являющегося результатом использования объекта преобразования биомассы. Это включает облучение во время перевозки отходов к месту их захоронения, обращение с отходами по месту захоронения и долгосрочное воздействие в результате захоронения.

Overview of Chornobyl Environmental Remediation Projects at BNL

Paul D. Kalb

Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop

February 23-25, 1998

Environmental & Waste Technology Center
Brookhaven National Laboratory

BNL Environmental & Waste Technology Center

Mission:

Development of innovative processes, analytical tools, and data, for the improved treatment and disposal of radioactive, hazardous, and mixed wastes.

Technical Focus Areas:

- Final Waste Forms
- Barrier Technologies
- Geochemistry
- Contaminant Transport/Risk Assessment Modeling

Chornobyl Environmental Remediation Projects

- Supported by DOE Initiatives for Proliferation Prevention (IPP)
- Collaboration between Brookhaven National Laboratory (US) and Institute of Power Engineering Problems (Belarus)
- Three Thrust 1 IPP Projects currently being completed:
  - Thermoplastic Encapsulation of Contaminated Ash in Belarus (P. Kalb, A. Grebenkov, PI)
  - Phytoremediation of Soils Contaminated with Radionuclides (M. Fuhrmann, A. Grebenkov, PI)
  - Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus (T. Sullivan, A. Grebenkov, PI)

Thermoplastic Encapsulation of Contaminated Ash in Belarus

- Significant portion (20%) of forest area in Belarus was contaminated as a result of Chornobyl accident
- Radioactivity is concentrated in ash (by up 70 times) when wood is burned for heat and cooking fuel
- > 180,000 tons of radioactive hearth ash has been accumulated and dispersed since 1986. Much larger volumes expected from engineered biomass conversion

- Scale-up feasibility
- Implementation issues
- Investigate thermoplastic processes for treatment of ash products generated as a result of burning contaminated biomass in Belarus

Thermoplastic Encapsulation of Contaminated Ash in Belarus

Accomplishments:

- Four drums of radioactive ash shipped to US for treatability studies
- Treatability and scale-up feasibility studies indicate polyethylene and sulfur polymer microencapsulation technologies are viable treatment options
- Feasibility of implementation (e.g., regulatory issues, availability of materials and supplies) confirmed
- Several reports and two papers published

Phytoremediation of Soils Contaminated with Radionuclides

Technical Approach for IPEP Collaboration:

- Summary of Current Phytoremediation Work in FSU
- Determination of Radionuclides in Local Crop Plants
- Analysis of Radionuclides in BNL plants and Soils
- Phytoremediation Test Plots with Plant Types Used at BNL
- Final Report/ Paper

Phytoremediation of Soils Contaminated with Radionuclides

- BNL investigated phytoremediation of soil contaminated with Cs-137 and Sr-90 at the BNL Hazardous Waste Management facility
- With principal support from DOE Office of Science and Technology, studies were conducted in collaboration with: MSE, Phytotech, and Cornell University/ U.S. Department of Agriculture
- Evaluated 7 plant types for ability to take up Cs-137 from soil

- Amaranthus performed best

Phytoremediation of Soils Contaminated with Radionuclides

- Examined methods of enhancing uptake through addition of reagent solutions to soil
- *Phytoremediation of a Radiocesium Contaminated Soil: Evaluation of Cs-137 Bioaccumulation in the Shoots of Three Plant Species,* By M. LaSat, M. Fuhrmann, S. Ebbs, J. Cornish and L. Kocian, J. Environmental Quality, Vol.27, #1, p.165-169, Jan. 1998

Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus

- Chornobyl accident resulted in radioactive contamination of >19,000 km^2 of industrial and recreational forests
- Cs-137 is most prevalent contaminant - preferentially incorporated in trees and biomass
- Forests continue to be an important source of lumber, heat, fuel, recreation and food
- If contaminated forests are left as is ("Do Nothing" scenario) population will continue to be exposed to elevated radiation doses through various pathways

Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus

- To understand potential health risks associated with remediation options under consideration (e.g., phytoremediation, biomass conversion), baseline risks must be characterized
- This project will focus on the risk associated with leaving the forests untreated and with disposal of ash
- Risks associated with biomass conversion will be evaluated as part of parallel IPP project performed under the guidance of Sandia National Laboratory

Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus

- Direct dose contribution from domestic furnaces
- Doses from application of radioactive ash for fertilizer
- Doses from inhalation of aerosol released from domestic wood fired furnaces
- Doses from forest fires

Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus

Disposal Risk Assessment

- Risks to workers due to treatment and handling of contaminated ash.
- Risks to general public due to disposal of wastes.
- Decisions pertaining to disposal have not been finalized (e.g., treatment options, disposal location, disposal facility design options, etc.) so risk assessment will focus on comparisons between different options

Evaluation of Health Risks Associated with Cs-137 Contamination from Chornobyl Fallout in Belarus

Exposure Analysis

- Several state-of-the-art consequence assessment and transport codes were run (e.g., RESRAD, RESRAD Build, MCNP, SAM-CE, COSYMA
- External dose contribution from ground contamination is the most significant contributor to potential health risks
- Internal dose due to consumption of contaminated forest food could be significant
- Inhalation dose to forest workers and direct dose from domestic furnaces found to be of little significance

The Use of Crop Plants in Phytoremediation of Radionuclide Contaminated Soil and Water

Slavik Dushenkov
Phytotech, Inc.; Monmouth Junction, New Jersey

ABSTRACT

Phytoremediation is generally defined as the use of green plants to remove pollutants from the environment or to render them harmless. Out of numerous constituents of this rapidly expanding technology, phytoremediation of radionuclides represents one of the greatest challenges and economic opportunities. Plants are long known to remove unstable isotopes from soil and water or restrain radionuclides in the rhizosphere, dramatically reducing their mobility in soil. High biomass crops have established agronomic practice, have been known to produce significant biomass in one season, have established a germ plasm bank and can be easily genetically modified; hence, crop plants possess high potential for the phytoremediation technology. Representative cultivars of *Amaranthus, Brassica, Helianthus, Phaseolus,* and *Zea* species were evaluated for phytoextraction of ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{232}Th, and/or ^{238}U. Huang et al. (in press) have shown that *Brassica* plants grown in a U-contaminated soil that was previously treated with citric acid hyperaccumulated U in their shoots to a level 1000-fold greater than plants grown in contaminated soil not treated with citric acid. Numerous soil and plant factors affect radionuclide uptake (e.g., soil texture, organic matter content, pH, isotope chemical speciation in soil, rate of nutrient absorption through the root, etc.). Rhizofiltration is defined as a process where terrestrial plant roots are used to absorb, concentrate, and precipitate heavy metals from polluted effluents. A sunflower based pilot-scale rhizofiltration system was successfully used at a former uranium processing facility in Ashtabula, OH, to lower uranium concentrations in the site source water to below the target limit of 20 μg/L.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Применение возделываемых растений для восстановления при помощи растительности почвы и воды, загрязненных радионуклидами

Славик Душенков
компания Phytotech, Inc., Манмас–Джанкшэн, штат Нью–Джерси

ВЫДЕРЖКИ

Восстановление при помощи растительности обычно определяется как использование зеленых растений для удаления загрязняющих веществ из окружающей среды или для их обезвреживания. Из большого числа областей использования этой быстро растущей технологии, восстановление при помощи растений при загрязненьях радионуклидами представляет собой наиболее сложное и создающее экономические возможности. Давно известно, что растения удаляют из почвы и воды нестабильные изотопы или же задерживают радионуклиды в ризосфере, существенно снижая их подвижность в почве. Дающие высокий урожай биомассы возделываемые культуры, утвердившиеся в агрономической практике, известны возможностью производства значительного объема биомассы за один сезон, создали банк семенной протоплазмы и могут быть быстро генетически модифицированы; следовательно, возделываемые растения обладают наиболее высоким потенциалом для их использования в технологии восстановления при помощи растительности. Культурно возделываемые представители видов *Amaranthus, Brassica, Helianthus, Phaseolus* и *Zea* были оценены на предмет фитоэкстракции ими ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{232}Th и/или ^{238}U. Хуанг и др. (Huang et al.) (в печати) показали, что растения *Brassica*, выращиваемые в загрязненной ураном почве, которая до этого обрабатывалась лимонной кислотой, гипераккумулируют уран в своих ростках до уровня, превышающего в 1000 раз таковой в растениях, выращиваемых на загрязненной почве, не обрабатывавшейся лимонной кислотой. На поглощение радионуклидов оказывает влияние ряд почвенных и растительных факторов (к примеру, структура почвы, содержание органических веществ, pH, химические свойства изотопа в почве, скорость поглощения питательных веществ через корневую систему и пр.). Ризофильтрация определяется как процесс, при котором находящиеся в земле корни растений используются для абсорбции, концентрирования и осаждения тяжелых металлов из загрязняющих сбросов. Основанная на подсолнухах опытно–экспериментальная система ризофильтрации была успешно использована на бывшем объекте переработки урана в Аштабуле, штат Огайо, понизив концентрацию урана в исходной воде по месту расположения объекта до уровня ниже установленного в качестве цели 20 мкг/Л.

Slavik Dushenkov

The Use of Crop Plants in Phytoremediation of Radionuclide Contaminated Soil and Water

Phytotech, Inc.
1 Deer Park Drive, Suite I
Monmouth Junction, NJ 08852
(732) 438 - 0900

Phytotech, Inc.

PHYTOREMEDIATION: Using plants to remove pollutants from the environment

Phytotech, Inc.

APPEALING ASPECTS OF PHYTOREMEDIATION

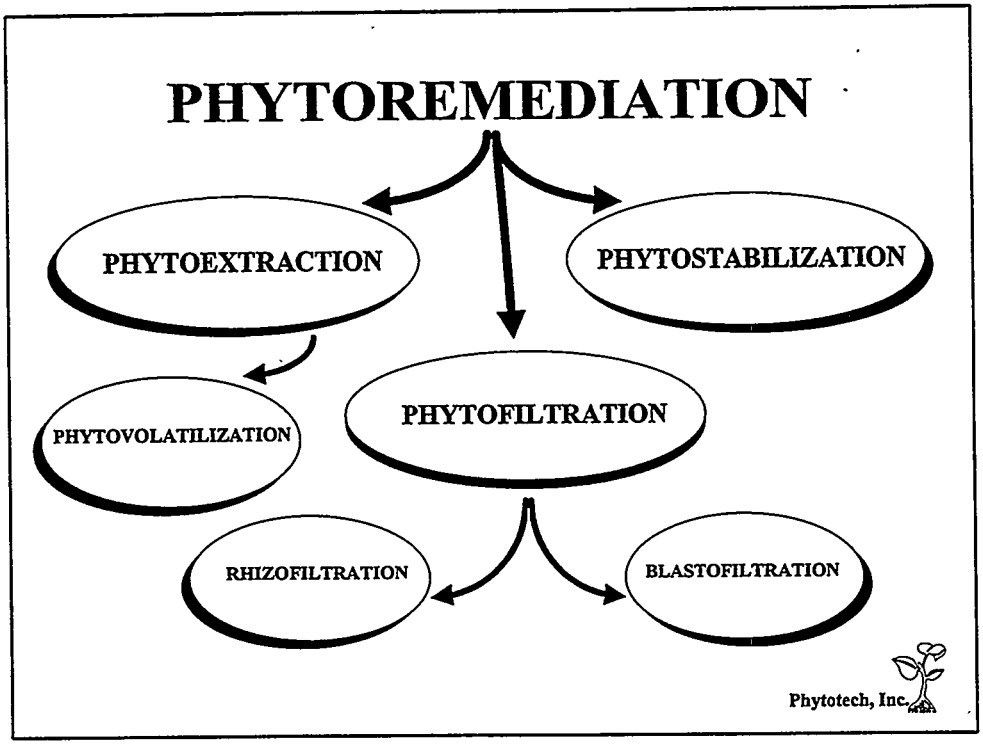
Cost Effective

Elegant and Beautiful Approach

High Acceptability to Public

Scientifically Sophisticated

Phytotech, Inc.

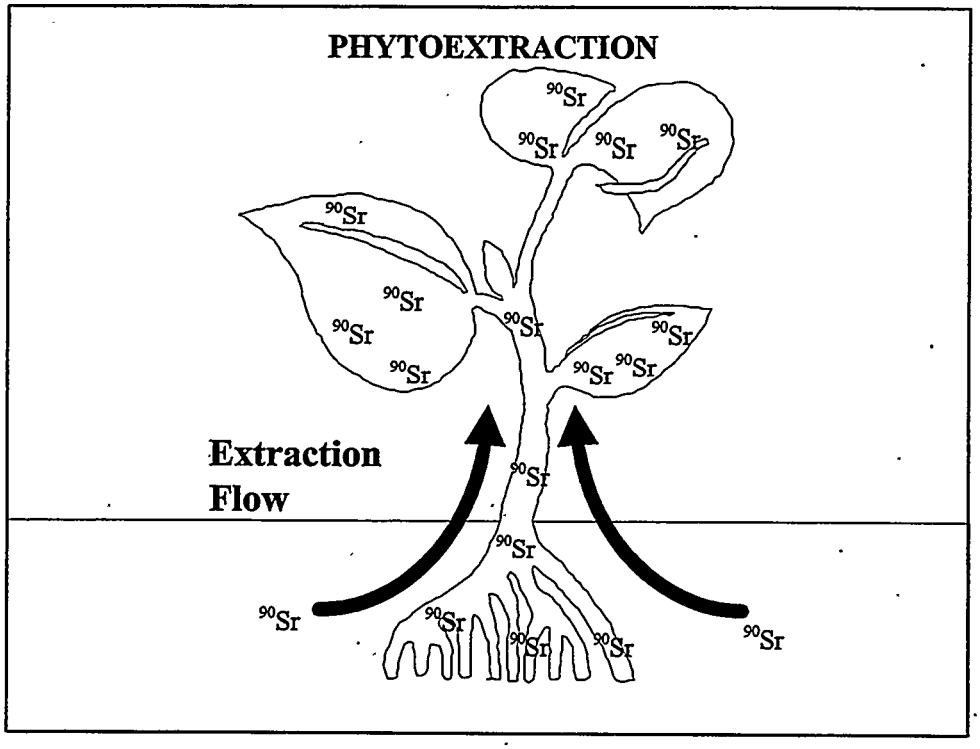


DIFFERENT METHODS OF PHYTOREMEDIATION

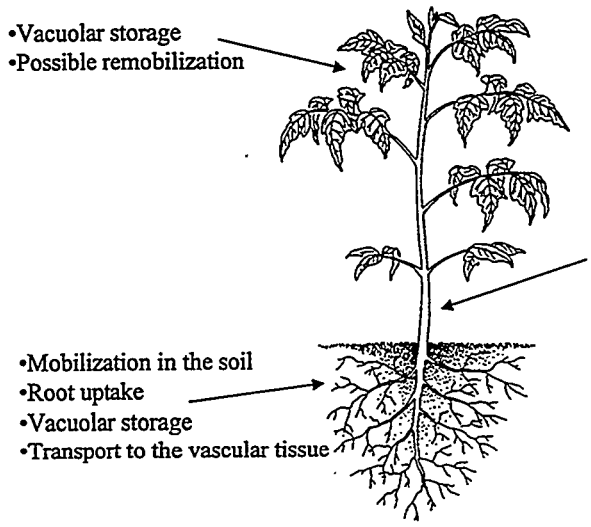
Phytoextraction: The use of metal accumulating plants to remove toxic metals from soil.

Rhizofiltration: The use of plants to remove toxic metals from polluted waters

Phytotech, Inc.

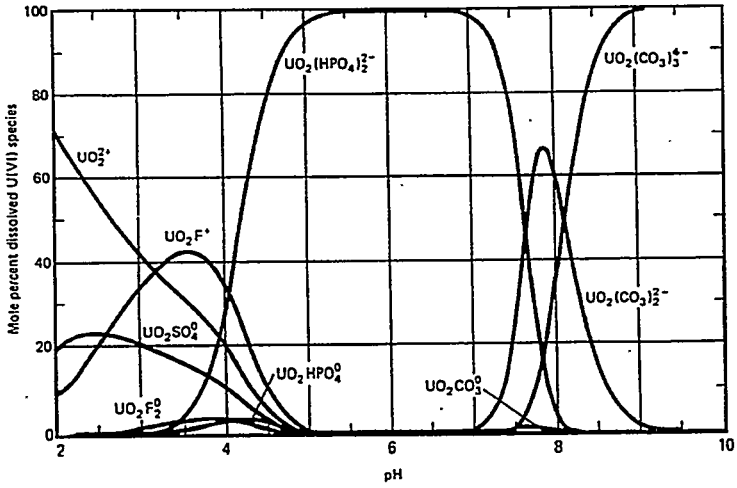


PHYTOEXTRACTION



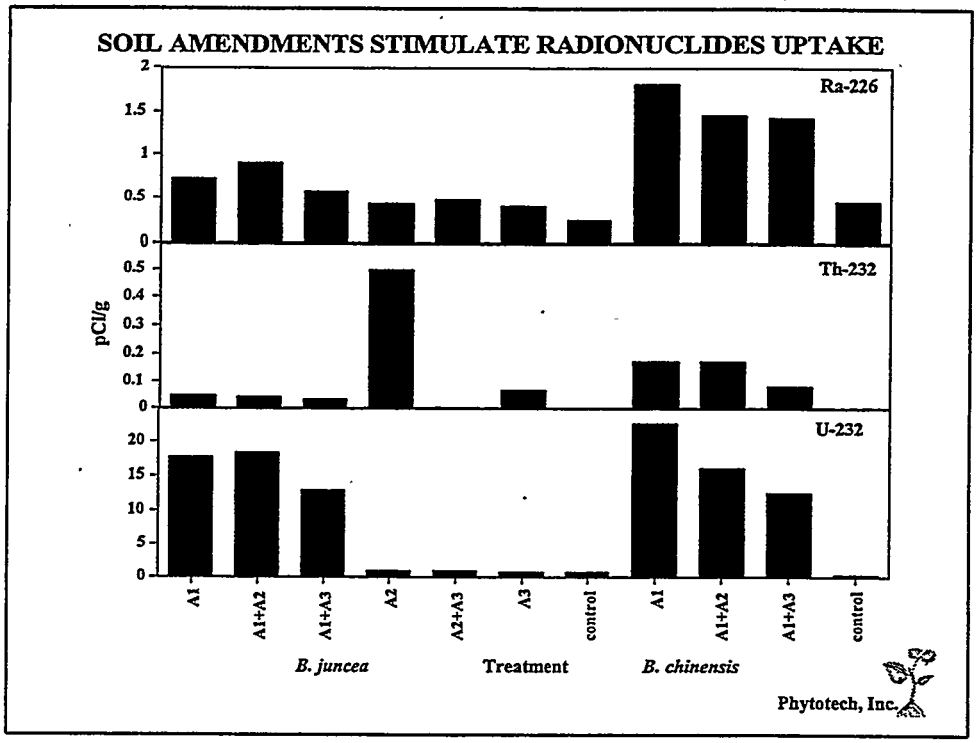
Phytotech, Inc.

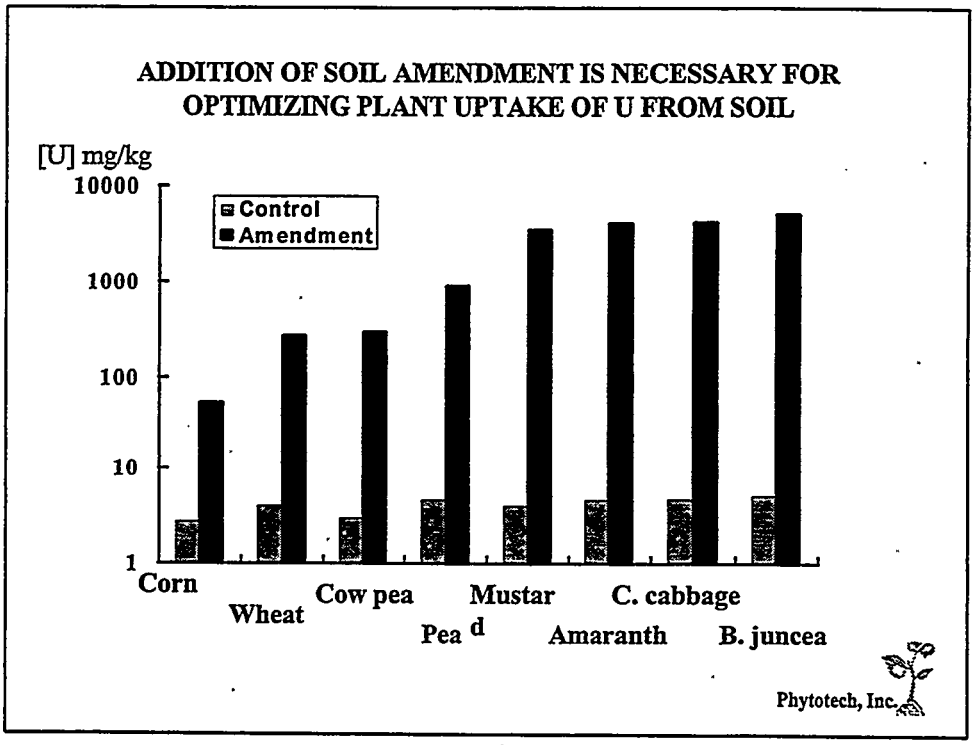
URANIUM SPECIATION IS DEPENDENT ON pH

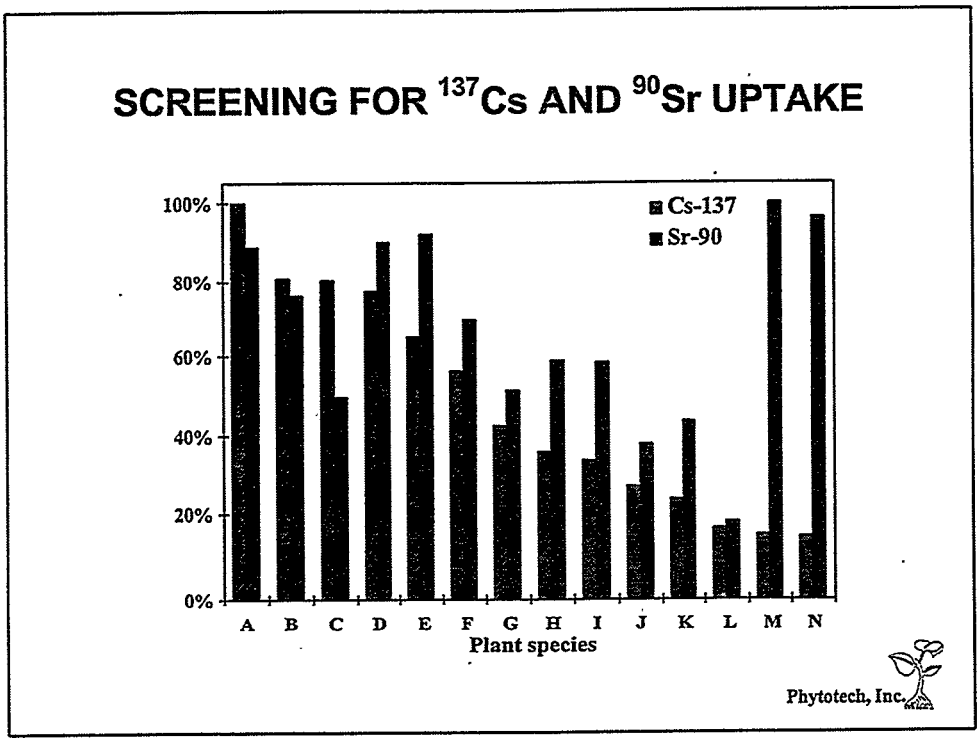


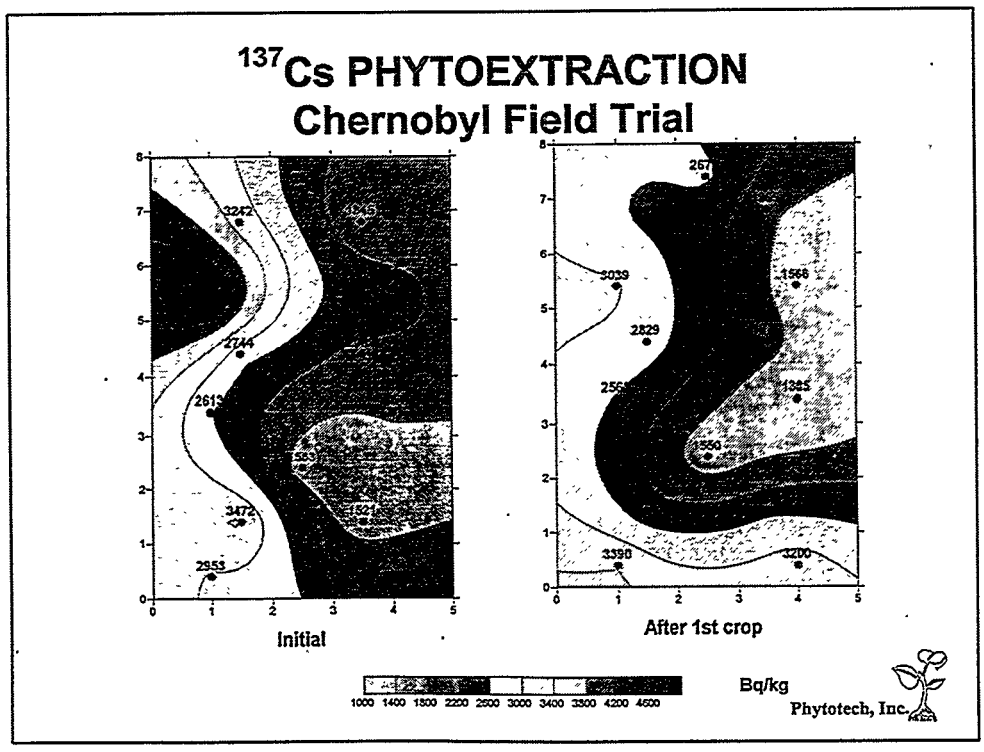
Adopted from Tripathi, 1979

Phytotech, Inc.


SOIL AMENDMENTS STIMULATE RADIONUCLIDES UPTAKE
Ra-226
Th-232
U-232
pCi/g
A1
A1+A2
A1+A3
A2
A2+A3
A3
control
A1
A1+A2
A1+A3
control
B. juncea
Treatment
B. chinensis
Phytotech, Inc.


ADDITION OF SOIL AMENDMENT IS NECESSARY FOR OPTIMIZING PLANT UPTAKE OF U FROM SOIL
[U] mg/kg
Control
Amendment
Corn
Wheat
Cow pea
Pea
Mustar d
Amaranth
C. cabbage
B. juncea
Phytotech, Inc.


SCREENING FOR 137Cs AND 90Sr UPTAKE
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Cs-137
Sr-90
A B C D E F G H I J K L M N
Plant species
Phytotech, Inc.


137Cs PHYTOEXTRACTION
Chernobyl Field Trial
3242
2744
2613
3472
2953
Initial
267
3039
1566
2829
1325
1550
3398
3200
After 1st crop
1000 1400 1800 2200 2600 3000 3400 3800 4200 4600
Bq/kg
Phytotech, Inc.

PHYTOREMEDIATION REQUIRES SPECIAL SKILLS

Soil Chemistry and Analytical Chemistry
Agronomy
Molecular Biology, Biochemistry, Plant Physiology
Civil, Mechanical, Chemical and Biochemical Engineering
Hydrogeology
Environmental, Corporate, and Patent Law
Project Management and Finance

Phytotech, Inc.

BENEFITS OF PHYTOEXTRACTION

Economical
Allows in-situ treatment
Preserves topsoil
Applicable to many metals
Allows recycling of metals

Phytotech, Inc.

FACTORS DETERMINING EFFECTIVENESS OF PHYTOEXTRACTION

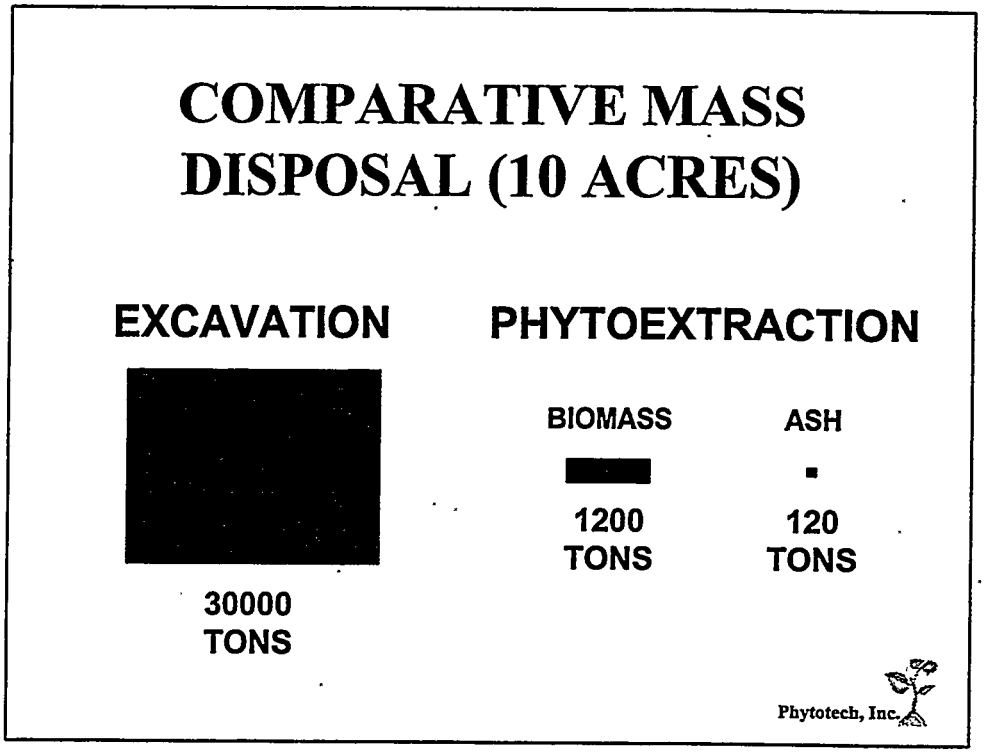
- Plant Characteristics
- Planting Density
- Fertilizer and Amendment Effectiveness
- Soil Characteristics
  - type, pH, EC, mineralogy
- Climate
- Total Soil Radionuclide Concentration
- Metal Solubility and Species Distribution

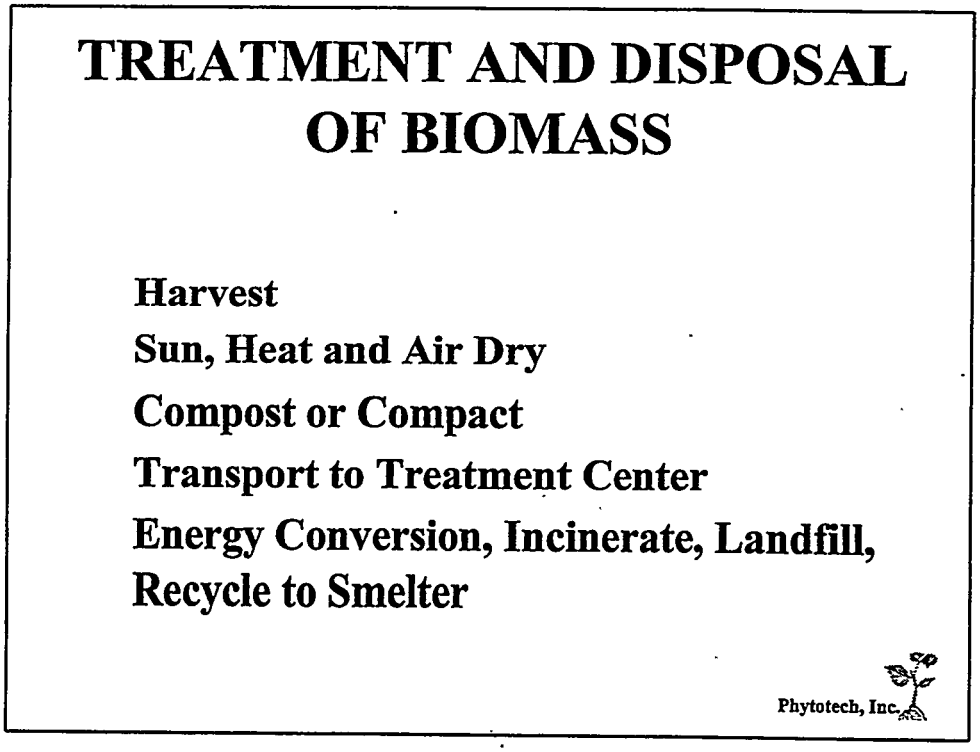
Phytotech, Inc.

AVAILABILITY OF RADIONUCLIDES IN SOIL CAN BE INCREASED BY:

- pH Adjustment
- Ion Exchange
- Chelators
- Biological Stimulation

Phytotech, Inc.


COMPARATIVE MASS DISPOSAL (10 ACRES)
EXCAVATION
PHYTOEXTRACTION
BIOMASS
ASH
1200 TONS
120 TONS
30000 TONS
Phytotech, Inc.


TREATMENT AND DISPOSAL OF BIOMASS
Harvest
Sun, Heat and Air Dry
Compost or Compact
Transport to Treatment Center
Energy Conversion, Incinerate, Landfill, Recycle to Smelter
Phytotech, Inc.

STEPS IN A PHYTOEXTRACTION PROGRAM

1. Determine Site Characteristics
   - Arability
   - Size
   - Contaminant Data
     - Concentrations Map
   - Clean-up Requirements
2. Obtain Samples
3. Conduct Treatability Tests in Phytotech Greenhouse
   - Soil Characterization
   - Growth Rates
   - Soil Amendments
   - Chemical Fractionation
   - Metal Uptake
4. Conduct Field Trial

Phytotech, Inc.

RHIZOFILTRATION

"Green" Approach to Clean Up Contaminated Waters

Technology Can Treat High Volume Waste Streams

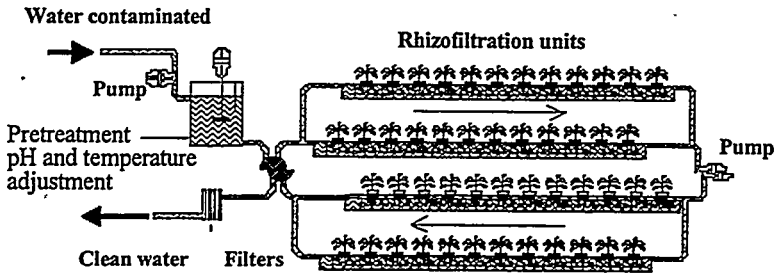
Cost Effective Alternative

Can be Used as "Polishing" Step to Achieve Government Standards for Industrial Waste Streams

Runs 365 Days/Year in On-Site Greenhouse

Phytotech, Inc.

RHIZOFILTRATION



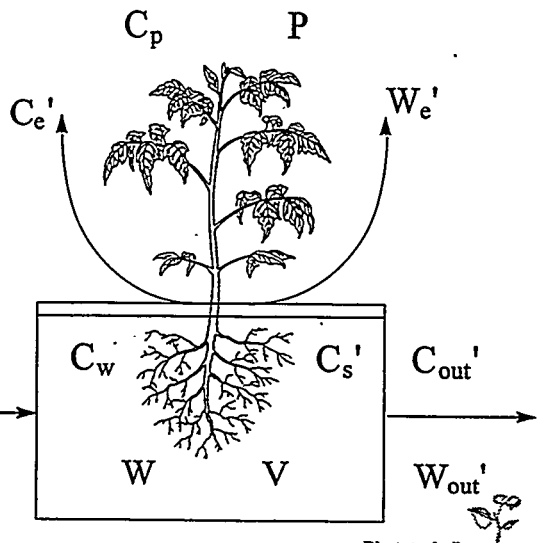
Phytotech, Inc.

RHIZOFILTRATION MODEL

$f0$

where:

C_p - metal accumulated in plant
C_w - metal in the tank
P - plant growth
W - mass of water in the tank
V - volume of the tank
C_{in}í - metal entering the tank
C_{out}í - metal leaving the tank
W_{in}í - water entering the tank
W_{out}í - water leaving the tank
C_eí - concentration reduction due to plant uptake
C_sí - concentration reduction due to settling/precipitation
W_eí - water loss due to evapotranspiration
$f0$ - environmental conditions



Phytotech, Inc.

FACTORS DETERMINING EFFECTIVENESS OF RHIZOFILTRATION

Root Production

Metal concentration in Solution

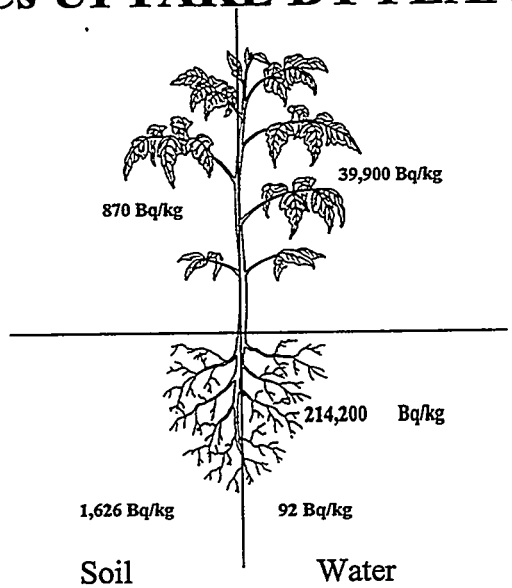
pH

Temperature

Root Density and Plant Age

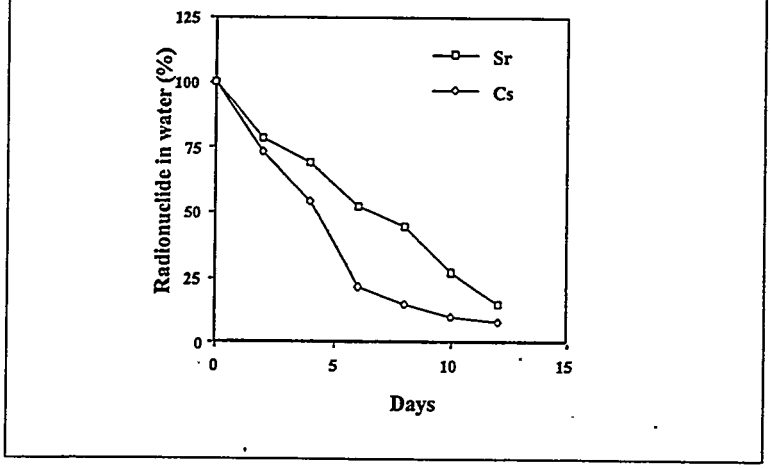
Phytotech, Inc.

^{137}Cs UPTAKE BY PLANTS



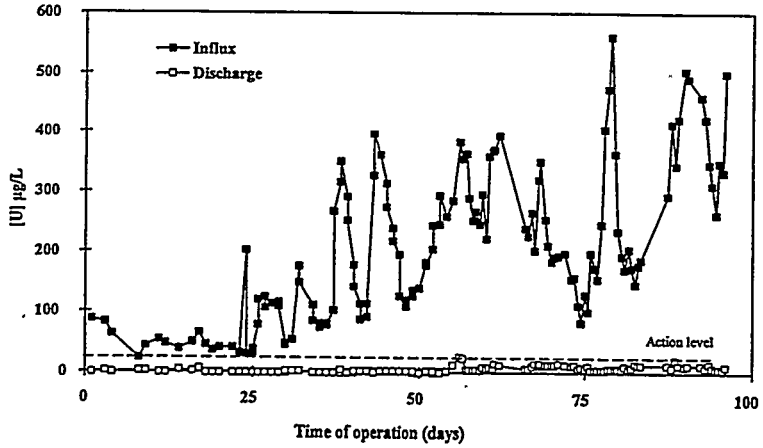
Phytotech, Inc.

RHIZOFILTRATION OF RADIONUCLIDES



Phytotech, Inc.

RHIZOFILTRATION SYSTEM PERFORMANCE AT RMI SITE.
Ashtabula, Ohio



Phytotech, Inc.

Applications of Phytoremediation Technologies in Real Conditions of the Chornobyl Zone

Boris V. Sorochinsky
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine; Kiev

ABSTRACT

Applications of phytoremediation technologies depend on the type of ecosystems and physical-chemical properties of radionuclides pollutions as well. Possible practical approaches of phytoremediation related to forest systems, virgin lands, aquatic systems and bogs are discussed. The algorithm of phytoremediation stages in the 30 km ChNPP exclusion zone is proposed.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Применение технологических приемов восстановления при помощи растительности в реальных условиях Чернобыльской Зоны

Борис В. Сорочинский
Украинская Государственная Академия Наук

ВЫДЕРЖКИ

Стало очевидным, что применение технологий восстановления при помощи растительности зависит от типов экосистем, а также от физико–химических свойств загрязнения радионуклидами. Мы обсуждаем возможные практические подходы восстановления при помощи растительности в отношении лесных систем, целинных земель, водных систем и болот. Мы предложили алгоритм стадий восстановления при помощи растительности в 30–км зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS RESOURCE ASSESSMENT

Applications of Phytoremediation Technologies in Real Conditions of the Chornobyl Zone

Boris V. Sorochinsky
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

PRESENTATION

It has been demonstrated that plants can accumulate large amounts of heavy metals and radionuclides. This phenomenon, which has been of considerable interest academically, may be also used economically in cleaning up contaminated soils and water. The use of plants for environmental cleanup is an emerging technology, which is called phytoremediation. The need for radionuclides, excluding crop plants, is particularly acute in the large areas of Ukraine, which were contaminated with different radionuclides after the Chornobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) accident.

Significant experience in decontaminating civil and industrial objects was obtained after the failure at the ChNPP. Solutions of various detergents were used for cleaning houses and buildings. Applying film coverings and removing the top layer of the polluted surfaces were also effective. Soils have been decontaminated by mechanically removing the top layer of most polluted soils. Considerably less attention was given to developing methods for cleaning polluted agricultural lands, woods, and water basins. Territories having levels of radionuclide pollution above admitted limits were withdrawn from economic activity. The levels of background radiation in the polluted territories have decreased during the last few years and are approaching the levels before the acident because of the natural process of self-clearing (disintegration of short-lived radionuclides and their migration). The task of deactivating soils and water reservoirs from short-lived radionuclides has therefore become less urgent. Unfortunately, the unsolved problem of environment cleanup from the long-lived radionuclides like ^{137}Cs and ^{90}Sr still needs to be addressed. These isotopes are the main source of irradiation for the peoples and animals in the polluted territories[1]. It is clear that the methods for deactivating woods, aquatic systems, and agricultural lands should be different from the methods for cleaning the buildings, roads, industrial construction, etc. Preserving all useful properties must be an obligatory condition for cleaning up the environmental structures. Plant-based technologies seem to be the way to solve some environmental cleanup problems.

It became obvious also that applications of phytoremediation technologies must depend on the type of ecosystems as well as the physical-chemical properties of pollution. The Chornobyl Exclusion Zone at 1995 was represented by the follow parts [2]:

LANDS COVERED WITH FORESTS	48,5%
Including: coniferous forest	38,6%
Foliage forest	9,9%
LANDS FREE FROM FORESTS:	33,3%
Including: forest distracted by fire	3,5%
Areas of cut forests	0,3%
Arable lands, fallow soils, meadows	29,5%
OTHER FOREST LANDS	1,1%
BOGS, SANDS	2,6%

WATER OBJECTS 8,5%
Including cooling basin..... 1,2%
SETTLEMENTS, ROADS ETC. 6,0%

Surface contamination of the Exclusion Zone is mainly represented by ^{137}Cs (110 000 Ci), ^{90}Sr (127 000 Ci), and $^{239-240}Pu$ (800 Ci). All the different parts of the Exclusion Zone have different perspectives to be decontaminated with phytotechnologies.

The problem of phytoremediating the forest system at the Exclusion Zone is very important but most difficult because 48.5% of the Exclusion Zone is covered with forests that are mainly represented by coniferous plants. Nearly 80% of all forest systems consist of pine trees *(Pinus silvestris),* and only 2% to 3% of the radionuclides have accumulated in wood biomass. Thus, there is a large existing level of biomass for producing energy, but its use in forthcoming periods may be limited by the slow growth rate of young coniferous plants. It is impossible to regulate the trees' accumulation capability. Short-rotation forestry may be the best possible way to use forest biomass followed by environmental cleaning inside the Exclusion Zone at the suitable high-contamination plots. The technology of short-rotation forestry is not distributed in Ukraine, but it may be successfully introduced in some specific plots of the Exclusion Zone. There are advantages in using novel forestry systems based on short-rotation technologies. Special selected fast-growth clones of poplar *(Populus sp.)* and willow *(Salix sp.)* can be used in short-rotation technologies. They are domestic species for this region, and there are many suitable plots for their introduction. It is well known that their rotation may be 6 to 7 years each, and they have a high density of 1 000 plants/hectare. These plants may produce 10 000 to 20 000 kg of dry biomass each year per hectare. The exemption level for fuel wood is 1 000 Bq/kg (Hildergarde Vandenhove, personal communication).

Phytoremediation of contaminated aquatic systems and bogs seems to be the most important task, especially for preventing radiological effects outside a zone. Nearly 11.1% of the territory of the Exclusion Zone is covered with water. The flows of groundwaters and rivers are the most important ways for radionuclides to migrate outside a zone. Moreover, phytoremediation activities for the forthcoming closing of the ChNPP may also address decontaminating the ChNPP cooling basin. Its features are as follows[2]: 22.9 square kilometers, 160,000,000 m^3 in volume, 140 to 330 pCi/L ^{137}Cs concentration in water, 120 to 230 pCi/L ^{90}Sr concentration in water, 3,500 Ci ^{137}Cs activity in sediments, 800 Ci ^{90}Sr activity in sediments, and 3 Ci Pu in sediments.

Phytoremediation of aquatic systems offers many advantages because water-cultivated plants can accumulate large amounts of radionuclides. Whole plants, including the root systems, can be utilized. There is the possibility of introducing short-rotating salix trees to prevent the vertical migration of radionuclides, to fix the borders of rivers, etc. Phytotechnologies can be rather effective in the case of aquatic systems where the radionuclides primary exist in the dissolved state, and the transfer factors of radionuclides from water to plants can reach several thousands of units. This is true also for terrestial plants grown in conditions of a water culture. This circumstance was the basic reason for developing the plant-based technology named rhizofiltration.

We will examine the technology we carried out both in laboratory and field experiments during 1995 and 1996. The laboratory investigations took place with sunflower plants (*Helianthus annus*), indian mustard (*Brassica juncea*), and pea (*Pisum sativum*). The plants were previously cultivated as a hydrophonic culture at the greenhouse followed by transfer on plastic containers with contaiminated water. The field trials were carried out at a small natural pound located near

Yanov village (10-km Exclusion Zone of ChNPS). The reservoir was formed, apparently, during the development of temporary storehouses for radioactive wastes during 1986 to 1987. The estimated volume of the pond is 18 to 20 m^3 of water.

The laboratory experiments proceeded as follows[3]. The plants were cultivated in plastic containers and were watered periodically with nutritive solutions. They were placed in 10:1 plastic containers for their forthcoming growth. We changed the nutrition solution regularly, one time per week. The plants were cultivated at the greenhouses under natural illumination. Plants of 11 weeks were used for the final experiments. The last steps of the experiments on rhizofiltration have been carried out with 50:1 plastic containers. These containers were filled with water samples collected from the same natural pounds where the field trial took place. Plants were incubated for 8 days in these containers. Another approach was tested also. Plants growing at their capacity in radioactive water were periodically replaced one time per 2 days for 2 weeks. The stems and roots of investigated plants were cut off at the end of the experiments. The specific activity of vegetative samples was defined after the air-drying and subsequent crushing with an electrical mill. The ^{137}Cs activity was measured with a gamma-spectrometer equipped with a germanium-lithium detector. The ^{90}Sr was characterized by the classical oxalatic method when affiliated Y is determined. The relative error of the ^{90}Sr measurement was no more than 3% to 5%. The error for the ^{137}Cs measurement did not exceed 2% to 7%.

The total amount of radionuclides absorbed by plants from the polluted water was determined by multiplying the weight and specific gravity of the plants. Specific ^{137}Cs and ^{90}Sr activities in the different parts of plants after their growth in the radioactive water are described in Table1.

Table 1. Specific Activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in Plants and Water Samples After the Rhizofiltration Procedure During 8 Days, M + m, n = 3[3]

Plant species	Sample for Analysis		^{137}Cs, Bq/kg	^{90}Sr, Bq/kg
Brassica juncea	Plants	Stems	39900 ± 12800	350000 ± 21200
		Roots	214200 ± 57900	76000 ± 15900
	Water	Before rhizofiltration	92 ± 1	1252 ± 5
		After rhizofiltration	20 ± 4	1014 ± 7
Pisum sativum	Plants	Stems	2340 ± 440	49600 ± 3800
		Roots	111000 ±18400	251000 ± 11700
	Water	Before rhizofiltration	80 ± 4	1267 ± 7
		After rhizofiltration	74 ± 3	1243 ± 18
Helianthus annuus	Plants	Stems	3220 ± 360	52500 ± 3300
		Roots	110000 ± 6600	310500 ± 13200
	Water	Before rhizofiltration	91 ± 4	1288 ± 7
		After rhizofiltration	9 ± 1	829 ± 19

The maximal ^{137}Cs TF (transfer factor) determined in roots of mustard was 2350. The maximal TF for ^{90}Sr is 374 and was revealed in sunflower roots. The sorbtion capability of large plants was allowed to reduce considerably the specific and total activity of water despite the short time of rhizophiltration. When the plants with a large biomass level were used, the activity of ^{137}Cs was reduced from 90 Bq/L up to 9 Bq/L. The efficiency of water clearing from ^{90}Sr was not so effective. Apparently, the water cleanup from ^{90}Sr contamination by a rhizofiltration method requires another approach. It may be that plants will need to be used at the phase of their most intensive growth. Another approach was also tested besides the experiments with continuous

incubation of plants. New adult plants were replaced every 48 hours in the same containers with contaminated water. This process was effective for ^{90}Sr accumulation from water.

A number of different plant species were tested during field-trial experiments on rhizofiltration[4]. The vegetation period was about 3 months for the majority of plants. Plants were cultivated directly at the water surface by using the special floated constructions. The results of field experiments on the examination of rhizofiltration technology are described in Table 2. Nonuniformity of ^{137}Cs and ^{90}Sr distributions over the parts of plants was also registrated. The ^{90}Sr, in particular, was located mainly in the stems of plants whereas ^{137}Cs was concentrated in their root systems.

Table 2. Transfer Factor, Specific Activity, and Total Amount of ^{137}Cs and ^{90}Sr that were Accumulated by Plants During the Natural Pound Rhizofiltration at the Yanov site[4]

Plant species	Part of plants	^{137}Cs			^{90}Sr		
		Transfer factor	Specific activity in plants, Bq/kg	Total accumulation, Bq	Transfer factor	Specific activity in plants, Bq/kg	Total accumulation, Bq
Helianthus annuus	Stems	1 140	29 320	16 420	3 400	1290 000	722 000
Linum usitatissimum	Stems	330	8 540	940	36	13 780	1 520
Poa	Stems	1 880	48 280	18 540	660	250 950	96 370
Phleum pratense	Stems	1 730	44 490	22 420	640	242 100	122 020
Native water vegetation		13 180	338 850				

It is remarkable that many plants can demonstrate a larger sorption ability within the conditions of aquatic culture than the actual water vegetation. Using plant species capable of producing a large biomass seems to be a determining part in rhizofiltration technology. Sunflower plants and poa plants are most preferable from this point of view. The plants have taken out from a reservoir more than 380 kBq ^{137}Cs and nearly 1100 kBq ^{90}Sr, which means 74% and 14% from the initial amount of these isotopes. The clearing was incomplete because the reservoir is an open system and may have an additional radionuclide flux because of the expanse of the soil water and the superficial drain. Received results, however, allow the conclusion of a high efficiency of phytotechnologies for cleaning up different aquatic systems polluted with radionuclides.

There are two most important tasks that must be solved during the phytoremediation of former arable lands and fallow soils. The first task addresses ^{137}Cs and ^{90}Sr low bioavailibility because they mainly exist in strong fixed forms. Another is related to cultivated plants or native vegetation that may to be used in remediation technologies. There are shortages of cultivated plants because of the high costs for all agrotechnical and agrochemical treatments or difficulties to produce high levels of biomass at large-scale fields for this part of Ukraine, etc. Many shortages may be also mentioned for native vegetation.

They are determined by the low-accumulation capability of native vegetation and their relatively low biomass level. We think that a successful but limited way is to use plants with large biomasses; this is supported by the results from Table 3.

Table 3. Transfer Factors for ^{137}Cs and ^{90}Sr into the Stems of Experimental Plants. These plants have accumulated radionuclides from 1 sq.m of soil[5].

Plant species	Transfer factor for ^{137}Cs	Part of accumulated radionuclide,%	Transfer factor for ^{90}Sr	Part of accumulated radionuclide, %
Helianthus tuberosum	0.30	0.91*	19.0	19.5*
Helianthus annuus	0.24	0.07	3.7	3.0
H.tuberosum x *H.annuus*	0.49	0.86*	8.9	7.0**
Amaranthus belozerny	1.41	0.36	7.9	1.9
Amaranthus cruentus	1.32	0.35	17.9	4.8
Amaranthus retroflexus	1.50	0.84	9.8	5.5
Amaranthus panuculatus x *caudatus*	2.03	0.41	13.2	2.7
Amaranthus aureus	1.90	0.64	18.7	6.3
Amaranthus hybridus	0.60	0.17	11.5	3.2
Amaranthus paniculatum	0.53	0.11	7.4	1.6
Amaranthus bicolor	0.59	0.10	14.8	2.5
Amaranthus feed cv. Antey	1.07	0.17	11.8	1.9
Brassica juncea	0.49***	0.07****	20.2***	1.8****

* whole plant, including roots
** plant without tubers
*** best value from three crops
**** total value for three crops

It is interesting that the accumulation capability of plants belonging to the same family is different rather considerably both in the case of ^{137}Cs and ^{90}Sr. The primary localization of ^{137}Cs is inthe root system. It was registered during the rhizofiltration experiments and seems to be the universal phenomenon. Apparently, the development of the phytotechnologies, directed for radiocesium extraction from soil complexes, should be based on the use of the large accumulation capability of the root system. Unfortunately, the plants that have been tested do not allow us to predict the success for radiocesium extraction from polluted soils. This is a question that needs to be addressed. It may be that methods for increasing the bioavailability of ^{137}Cs at the expense of processing soils, updating the absorping ability of rhizosphera, using different microbial preparations, and also designing modern biotechnological methods of new plants, such as the hyperaccumulators, will need to be developed. Clearing soils of ^{90}Sr is the real task. The best possibility for this purpose seems to be *Helianthus tuberosum* plants. During one vegetation season, they removed nearly 20% of the initial amount of ^{90}Sr from the soil. Moreover, these long-term plants do not need to be planted annually; this could simplify the phytoextraction technology.

Thus, it became clear that the whole Exclusion Zone may not be cleaned by plant technologies, but such technologies must be applied in some selected parts of the Exclusion Zone. Thus, it may be proposed that such an algorithm of phytoremediation stages in the 30-km ChNNP Exclusion Zone should be like this:

YEAR 1:

- Zone mapping in terms of ^{137}Cs and ^{90}Sr bioavailable forms

- Determination of critical systems from the point of view of radionuclides migration outside the zone
- Use of most radioactive existing forest biomass
- Introduction of new short rotation forest by using *Populus sp.* and *Salix sp.* at the suitable plots

YEAR 2 - YEAR 6:

- Use of existing radioactive forest biomass
- Planting of additional short-rotation forestry systems.
- Rhizofiltration of most contaminated small ponds
- Development by biotechnological methods of the possibility to increase the capability of plants to accumulate radiocesium.
- Pilot experiments on rhizoextraction with high-crop cultivated plants at the most suitable plots

YEAR 7 - FORTHCOMING YEARS:

- Use of short rotating forest biomass
- Cleaning of cooling basin

REFERENCES

1. B. Prister, N. Loschilov, O. Nemec, and V. Poyarkov. *The Basis of Agricultural Radiology*, Kiev, Urozai Publ., 1991, 472 p.
2. *Chernoble Accident* (Ed. V. Baryakhtar), Kiev, Naukova Dumka Publ., 1995, p. 559.
3. D. Grodzinsky, S. Dushenkov, A. Mikheev, M. Ruchko, A. Prokhnevsky, and B. Sorochinsky, *Proc. Acad. Sci. Ukraine*, 1997, vol 8, pp. 189-192.
4. B. Sorochinsky, A. Mikheev, M. Ruchko, and A. Prokhnevsky, *Problem of the Chornobyl Exclusion Zone,* 1998, vol 5. pp.91-96, will be publ.
5. B. Sorochinsky, A. Mikheev, M. Ruchko, and A. Prokhnevsky, *Radiation Biology-Radioecology,* 1998, submitted.

Biodiversity, Reforestation and Environmental Issues

Helle Junker
Elsamprojekt, Fredericia, Denmark

ABSTRACT

The results presented are being carried out within the "Chornobyl Bioenergy Project," a project that has developed in a collaboration with the Belarusian EPA as a shared effort between individual international partners:

- Sandia National Laboratories; California, USA;
- Wheelabrator Environmental Systems, USA;
- The Institute of Power Engineering Problems, Belarus;
- ELSAMPROJEKT, Denmark;
- Riso National Laboratories, Denmark;
- The Danish Forest and Landscape Research Institute, Denmark.

The largest biodiversity values are found in the few true natural forests, but as the few true natural forests are already protected and will be left as forest reserves also after contamination, the semi-natural forests must be the main area of concern. This project offers a good potential for improving the biodiversity of the forests if harvesting and management are properly conducted. Extensive harvesting fellings to use contaminated wood for bioenergy and the subsequent removal of litter to dispose of all contaminated humus will affect the biodiversity drastically unless countermeasures are taken. Biodiversity considerations in relation to the planned interventions must include the following:

1. Protection of key habitats,
2. Survival of species in selected areas,
3. Future distribution of species,
4. Long-term development of the forest ecosystem.

The work for this part of the project will take place in collaboration with the forest biodiversity research body in Belarus. The initiatives to be taken for the harvesting should consider the following:

Key Habitats Survey—Inspired from the Swedish system of key habitat surveying, a similar concept should be applied to the contaminated areas in Belarus before any fuel wood or litter is removed. Woodland key habitats can be thought of as points of distribution for threatened species and can therefore serve as building blocks in our future effort to restore biodiversity. A survey will include 1) an introductory phase, where a variety of sources are complied for locating

potential key areas, 2) a field-survey phase, where key elements, indicator species, and red-listed species are registered and potential key areas located during the initial phase are visited, and 3) a completion phase, where all findings are edited, and areas requiring future protection and no intervention are defined.

Forest History Inquiry—The land use history of all parts of the semi-natural forests in question should be elucidated, and the demarcate areas of long continuity and stable humidity and nutritional properties should be identified. Part of this work is included in the key habitat survey, but even forest areas with no visible key elements or indicator species may be of importance as regards soil microfauna, fungi, and animals. These areas will require special attention in the following two activities.

Prolonged Harvesting Plan—A careful harvesting plan, including dividing the total area into small lots with staggered harvesting, must be prepared. If the total harvesting period is extended to e.g., 25 years, and "islands" and "belts" of forests are being left between the harvested parts until the end of the period, many organisms will have time to spread between the lots and survive in the forest.

Sustainable Reforestation—Genetic continuity should be aimed for in selecting planting material for reforestation. This may be obtained using seedlings from seed plantations based on local genetic material. In the layout of reforestation, a multitude of future habitats should be included to prevent the future survival of species from being hampered by an increased uniformity of the forest ecosystem.

Вопросы биологического разнообразия, лесовосстановления и окружающей среды

Хелли Джанкер
Организация Elsamproject, Фредерисия, Дания

ВЫДЕРЖКИ

Представленные результаты были достигнуты в рамках «Чернобыльского биоэнергетического проекта», разработанного в сотрудничестве с Белорусским ведомством по охране окружающей среды, являющегося совместной работой отдельных международных партнеров:

- Сандийских Национальных Лабораторий, штат Калифорния, США
- Компании Wheelabrator Environmental Systems, США
- Института Энергетических Проблем, Беларусь
- Организации ELSAMPROJECT, Дания
- Национальных Лабораторий Рисо, Дания
- Датского Исследовательского Института Лесного хозяйства и Ландшафта, Дания

Наиболее широкое биологическое разнообразие можно обнаружить только в небольшом числе настоящих естественных лесов, однако поскольку небольшое число настоящих естественных лесов уже находится под защитой и будут сохранены в качестве лесных резервов также и после загрязнения, наибольшую озабоченность должны представлять полуприродные леса. Настоящий проект предложил неплохой потенциал для улучшения биологического разнообразия при соответствующем ведении лесозаготовки и менеджмента. Широкая вырубка леса для использования загрязненной древесины в качестве источника биоэнергии и последующее удаление лесной подстилки и захоронение всего загрязненного перегноя будет оказывать радикальное воздействие на биологическое разнообразие, если не будут предприниматься встречные меры. Соображения в отношении биологического разнообразия в связи с планируемыми вмешательствами должны включать в себя следующие:

1. Защиту ключевых сред обитания
2. Выживание видов на отобранных площадях
3. Распределение видов в будущем
4. Долгосрочное развитие лесных экосистем.

Работа по этой части проекта будет проходить при сотрудничестве с занимающимся биологическим разнообразием в лесах органом в Беларуси. Начинания, которые будут

предприняты для проведения рубки леса, должны принимать во внимание следующее:

Наблюдение за ключевыми средами обитания – Беря за пример Шведскую систему проведения наблюдения за ключевыми средами обитания, схожая система должна быть применена для загрязненных территорий в Беларуси перед каким–либо удалением древесного топлива или подстилки. Ключевые лесные ареалы обитания должны рассматриваться как точки распределения находящихся под угрозой видов и могут, следовательно, служить в качестве строительных блоков в наших будущих усилиях по восстановлению биологического разнообразия. Наблюдение будет включать 1) вступительную фазу, во время которой собираются всевозможные источники для определения потенциальных ключевых ареалов, 2) фазу полевых наблюдений, когда регистрируются основные элементы, служащие индикаторами виды и виды, занесенные в Красную Книгу, и проводится посещение потенциальных ключевых ареалов, определенных на первоначальной фазе, и 3) фазу завершения, когда редактируются все обнаруженные сведения и определяются ареалы, требующие защиты в будущем и не подлежащие вмешательству.

Изучение лесных исторических данных – Необходимо понять историю землепользования всех районов изучаемых полуприродных лесов и определены места разграничений по возрасту лесостава, стабильности влажности и питательным свойствам. Часть такой работы включена в наблюдение за ключевыми средами обитания, однако лесные территории даже не имеющие заметных ключевых элементов или служащих индикаторами видов могут представлять важность в плане микрофауны почвы, грибков и животных. Эти районы потребуют особого внимания во время следующих двух мероприятий.

План продолжительной лесозаготовки – Должен быть подготовлен подробный план лесозаготовки, включающий разбитие всей площади на небольшие участки для каемочной рубки. Если общее время ведения лесозаготовки продлевается до, к примеру, 25 лет и между районами рубки до конца такого периода оставляются «островки» и «пояса» леса, то многие организмы будут иметь время распространяться между участками и выживать в лесу.

Самоподдерживающее лесовосстановление – При выборе растительного материала для лесовосстановления необходимо ориентироваться на сохранение генетической целостности. Этого можно добиться, используя саженцы для плантаций, основываясь на местном генетическом материале. При ведении лесовосстановления необходимо включать широкое разнообразие сред обитания для того, чтобы возрастающая однородность лесной экосистемы не угрожала выживанию видов в будущем.

Biodiversity, Reforestation and Environmental Issues

Helle Junker, ELSAMPROJEKT

The work is performed by
Pieter Kofman, Ebbe Bøllehuus and Flemming Rune
Danish Forest and Landscape Research Institute, Denmark

Partners in: "*Chernobyl Bioenergy Project*":

- Institute of Power Engineering Problems, Belarus
- Sandia National Laboratories, California, USA
- Wheelabrator Environmental Systems Inc., USA
- ELSAMPROJEKT, Denmark
- Risø National Laboratory, Denmark
- Danish Forest and Landscape Research Institute, Denmark

Chernobyl Bioenergy Project

Danish Forest and Landscape Research Institute

Phase 1 (feasibility study):

A technical solution to the harvesting problem of the trees and the humus layer

A description of the consequences for the bio-diversity

A solution to the reforestation problem

Phase 2 (pilot plant project):

Pilot plant facility, machine and method development

Training of instructors

Development of logistics

Reforestation

Chernobyl Bioenergy Project

Biodiversity consequences of removing contaminated wood and forest litter:

Extensive harvesting fellings in order to use contaminated wood for bioenergy will affect biodiversity drastically .

Biodiversity considerations in relation to the planned interventions:

1. Protection of key habitats
2. Survival of species in selected areas
3. Future distribution of species
4. Long-term development of the forest ecosystem

Chernobyl Bioenergy Project

The reforestation initiavtives should include:

Survey of key habitats
- A prepatory phase
- A field survey phase
- A completion phase

Forest history inquiry

Prolonged harvesting plan
- "Staggered harvesting"
- "Islands" og "belts" of forests are being left

Sustainable reforestation
- Genetic continuity should be aimed
- Eg. using seedlings from seed plantations
- Including a multitude of future habitats

Chernobyl Bioenergy Project

Forest biodiversity research in Belarus is carried out at variuos institutions.

Research on forest-gene resources:
Forest Institute of the Academy of Sciences of Belarus (Gomel)

General biodiversity research:
Institute of Botany of the Academy of Sciences of Belarus (Minsk)
Central Botanical Garden (Minsk)

Biodiversity management research:
Ministry of Forestry (Minsk)

Power Production from Radioactive Contaminated Biomass and Forest Litter in Belarus Biodiversity Issues

Flemming Rune
The Danish Forest and Landscape Research Institute, Horsholm, Denmark

ABSTRACT

General Considerations on Biodiversity in Forests of Belarus

Of the 7.3-million hectares of forested area in Belarus, approximately 35% is composed of protected forests, i.e., forests managed primarily for recreational, soil protecting, or water protecting purposes (communal and state owned). Most of these areas are semi-natural forests (natural forests affected by human activities), while genuine national forests (designated in national parks and nature reserves) cover less than 1% of the total forested area. The largest biodiversity values are concentrated in these areas because biodiversity tends to be insufficiently considered in commercial forest management, though more than half of the commercial forests are semi-natural.

The official nature conservation strategy by the Ministry of Forestry prescribes several regulations of commercial forestry practices to protect biodiversity, e.g., 100-metre protection zones around rivers and small streams, 1-km zones of lenient management regimes around lakes, protection of key-habitats, and establishment of genetic reserves.

The southern and most contaminated parts of Belarus have the highest forest cover percentage (e.g., in Lelchitsky Region, Gomel Province, as much as 62%), and in these areas 2/3 of the oak forests of Belrus are found (10% of the forest area in south Belarus). The shrinkage of oak forests in Belarus has attracted considerable attention recently, partly because of their large biodiversity and partly because of the valuable forest floor vegetation of bilberries (Bsvvinium myrtilus).

Pine forests constitute 60% and birch/alder forests about 30% of the forest area in southern Belarus, but their mean age is low (49 and 36 years for oak and birch, respectively), and most of the pine and birch are planted. Thus, large parts of the pineries are of only secondary interest in biodiversity conservation considerations.

Forest biodiversity research in Belarus is carried out at various institutions. Research on forest-gene resources is pursued by the Forest Institute of the Academy of Sciences of Belarus (Gomel), and general biodiversity research is carried out by, e.g., the Institute of Botany of the Academy of Sciences of Belarus (Minsk) and the Central Botanical Garden (Minsk). Biodiversity management research is to some extent carried out by the Ministry of Forestry (Minsk).

Extensive harvesting fellings to use contaminated wood for bioenergy and subsequent removal of litter to dispose of all contaminated humus will affect biodiversity drastically.

The deleterious effects will probably be of minor importance in the artificial forests, presently occupying approximately 30% of the total forested area. A large part of these forests is established by afforestation of old agricultural land on poor soils or on drained wetlands. Since

the Second World War, more than 2-million hectares of new forest has been planted, and these areas are still too young to contain more than a small fraction of the biodiversity natural to forest ecosystems. The litter layer may be quite thin, and the forest floor is often naked with a soil fauna very poor in species.

Thus, as the few true natural forests are already protected and will be left as forest reserves also after contamination, the semi-natural forests must be the main area of concern. About half of the semi-natural forests are "1st category" protection forests, i.e., forests with only secondary commercial interests (water, soil, recreation). In those areas, a longer average tree age, lesser disturbance of the soil, and longer continuity in tree species are found, opening up the possibility of a much larger variation of habitats. Even in the commercial half of semi-natural forests, the nature value may be high in many places, and this must be taken into account when clear-cutting and removing litter from the forest floor.

Biodiversity considerations in relation to the planned interventions, must focus on the following:

a) protection of key habitats

b) survival of species in selected areas

c) future distribution of species

d) long-term development of the forest ecosystem.

Proposal for a Biodiversity Conservation Scheme

To improve the survival potential of plants and animals inhabiting the forest ecosystem, several initiatives must be taken in connection with the planned harvesting and litter removal. The forces may be favorably put into order of priority on the concerned areas: 1) semi-natural forests with protected status, 2) semi-natural forests with commercial management, 3) artificial forests established by reforestation of old forest land, and 4) artificial forests established by afforestation of farmland or wetlands.

The initiatives should include the following:

1) Survey of Key Habitats. Inspired from the Swedish system of key habitat surveying, a similar concept should be applied on the contaminated areas in Belarus before any fuel wood or litter is removed. Woodland key habitats can be thought of as points of distribution for threatened species and can therefore serve as building blocks in our future efforts to restore biodiversity. A survey includes 1) a prepatory phase, where a variety of sources are compiled for locating potential key areas, 2) a field survey phase, where key elements, indicator species, and red-listed species are registered, and potential key areas located during the initial phase are visited, and 3) a completion phase, where all data are edited, and areas requiring future protection and no intervention are defined.

2) Forest History Inquiry. The land-use history of all parts of the semi-natural forests in question should be elucidated to demarcate areas of long continuity and stable humidity and nutritional properties. Part of this work is included in the key habitat survey, but even forest areas with no visible key elements or indicator species may be of importance as regards soil microfauna, fungi, and animals. These areas will require special attention in the points below.

3) Prolonged Harvesting Plan. A careful harvesting plan, including parcelling out the total area into small lots with staggered harvesting, must be prepared. If the total harvesting period is extended to 25 years, and "islands" or "belts" of forests are being left between the harvested parts until the end of the period, many organisms will have time to spread between the lots and survive in the forest.

4) Sustainable Reforestation. Genetic continuity should be a goal in selecting planting materials for reforestation. This may be obtained by using seedlings from seed plantations based on local genetic material. In the layout of reforestation, a multitude of future habitats should be included to prevent the future survival of species from being hampered by an increased uniformity of the forest ecosystem

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Вопросы биологического разнообразия при выработка электроэнергии из загрязненной радиоактивными веществами биомассы и лесной подстилки в Беларуси.

Флемминг Рун
Датский Исследовательский Институт Лесного хозяйства и Ландшафта,
Хоршхольм, Дания

ВЫДЕРЖКИ

Соображения общего характера о биологическом разнообразии в лесах Беларуси

Из 7,3 миллиона гектаров лесной территории в Беларуси приблизительно 35% состоит из находящихся под защитой лесов, т.е. лесов, используемых преимущественно для целей отдыха, защиты почвы или воды (общественные и находящиеся во владении государства). Большинство этих районов являются полуприродными лесами (естественными лесами, находящихся под влиянием человеческой деятельности), в то время как истинные национальные леса (служащие национальными парками и природными резервами) покрывают менее 1% от всей лесной территории. В этих районах сосредоточены наиболее биологически разнообразные системы, поскольку при коммерческом лесоводстве биологическому разнообразию не придается достаточного внимания, хотя более половины коммерчески используемых лесов и являются полуприродными.

Официальная стратегия охраны природы Министерства Лесного хозяйства предписывает несколько нормативов для коммерческого лесоводства, направленных на охрану биологического разнообразия, к примеру, 100 метровые защитные зоны вдоль рек и малых потоков, 1 километровые зоны режима бережного использования вокруг озер, защиту ключевых сред обитания и создание генетических резервов.

Южные и подвергшиеся наибольшему загрязнению районы Беларуси имеют наиболее высокий процент покрытой лесом территории (например, в Лельчитском районе, Гомельской области до 62%) и на них приходится 2/3 дубовых лесов Беларуси (10% лесных территорий в южной части Беларуси). Сокращение площади дубовых лесов в Беларуси привлекло недавно значительное внимание, отчасти в силу их широкого биологического разнообразия и частично из-за ценных зарослей черники (Bsvvinium myrtilus) в лесной подстилке.

Сосновые леса составляют 60% и березовые и ольховые примерно 30% территории лесов в южной Беларуси, однако их средний возраст мал (49 и 36 лет для дубовых и березовых, в соответствующем порядке), а большинство сосен и берез являются высаженными. Поэтому при рассмотрении сохранения биологического разнообразия значительная часть сосновых лесов представляют собой только вторичный интерес.

Исследования биологического разнообразия лесов в Беларуси проводились различными институтами. Исследование лесных генетических ресурсов ведется Институтом Леса Белорусской Академии Наук (Гомель), а исследования общего биологического разнообразия проводятся, к примеру, Институтом Ботаники Белорусской Академии Наук

(Минск) и Центральным Ботаническим Садом (Минск). Исследование по мерам охраны биологического разнообразия ведется в некоторых пределах Министерством Лесного хозяйства (Минск).

Обширные лесозаготовки с использованием загрязненной древесины в качестве источника биоэнергии и последующее удаление лесной подстилки для захоронения всего подвергшегося загрязнению перегноя окажет радикальное воздействие на биологическое разнообразие.

Для искусственных лесов, занимающих в настоящее время примерно 30% от всей территории лесов, отрицательное воздействие будет, вероятно, представлять небольшую важность. Большая часть этих лесов была создана путем лесонасаждения старых сельскохозяйственных земель с бедными почвенными покровами или на месте осушенных болот. Со времен Второй Мировой Войны было высажено свыше 2 миллионов гектаров новых лесов, и эти территории все еще слишком молоды для того, чтобы содержать больше, чем малая часть биологического разнообразия, естественного для лесных экосистем. Слой лесной подстилки может быть довольно тонок, а лесная почва зачастую обнажена и содержит фауну очень ограниченного видового состава.

Следовательно, поскольку небольшое число настоящих естественных лесов уже находится под защитой и будут сохранены в качестве лесных резервов также и после загрязнения, наибольшую озабоченность должны представлять полуприродные леса. Примерно половина полуприродных лесов являются находящимися под защитой лесами «1ой категории», т.е. лесами, имеющими только вторичный коммерческий интерес (вода, почва, отдых). На этих территориях обнаружены более длительный средний возраст деревьев, меньшее возмущение почвы и более длительная целостность видового состава деревьев, что открывает возможность гораздо более широкого разнообразия сред обитания. Даже на коммерческой половине полуприродных лесов природная ценность во многих местах может быть высокой, и это необходимо принимать во внимание при сплошной рубке и удаления подстилки с лесной почвы.

Соображения в отношении биологического разнообразия в связи с планируемыми вмешательствами должны фокусироваться на следующем:

а) защите ключевых сред обитания

б) выживании видов на отобранных площадях

в) распределении видов в будущем

г) долгосрочном развитии лесных экосистем.

Предложение по схеме сохранения биологического разнообразия

Для улучшения возможности выживания растений и животных, произрастающих и обитающих в лесной экосистеме, должны быть предприняты несколько начинаний, связанных с планируемыми лесозаготовками и удалением подстилки. Эти усилия должны предприниматься по порядку приоритета в следующих областях: 1) полуприродные леса,

находящиеся под защитой, 2) полуприродные леса, находящиеся в коммерческом обращении, 3) искусственные леса, созданные лесовосстановлением на месте старых лесов и 4) искусственные леса, созданные лесопосадками на месте сельскохозяйственных земель и болот.

Начинания должны включать в себя следующие:

1) Наблюдение за ключевыми средами обитания. Беря за пример Шведскую систему проведения наблюдения за ключевыми средами обитания, схожая система должна быть применена для загрязненных территорий в Беларуси перед каким-либо удалением древесного топлива или подстилки. Ключевые лесные ареалы обитания должны рассматриваться как точки распределения находящихся под угрозой видов и могут, следовательно, служить в качестве строительных блоков в наших будущих усилиях по восстановлению биологического разнообразия. Наблюдение включает 1) вступительную фазу, во время которой собираются всевозможные источники для определения потенциальных ключевых ареалов, 2) фазу полевых наблюдений, когда регистрируются основные элементы, служащие индикаторами виды и виды, занесенные в Красную Книгу, и проводится посещение потенциальных ключевых ареалов, определенных на первоначальной фазе, и 3) фазу завершения, когда редактируются все обнаруженные сведения и определяются ареалы, требующие защиты в будущем и не подлежащие вмешательству.

2) Изучение лесных исторических данных. Необходимо понять историю землепользования всех районов изучаемых полуприродных лесов и определены места разграничений по возрасту лесостава, стабильности влажности и питательным свойствам. Часть такой работы включена в наблюдение за ключевыми средами обитания, однако лесные территории даже не имеющие заметных ключевых элементов или служащих индикаторами видов могут представлять важность в плане микрофауны почвы, грибков и животных. Эти районы потребуют особого внимания во время указанных ниже пунктов.

3) План продолжительной лесозаготовки. Должен быть подготовлен подробный план лесозаготовки, включающий разбитие всей площади на небольшие участки для каемочной рубки. Если общее время ведения лесозаготовки продлевается до, к примеру, 25 лет и между районами рубки до конца такого периода оставляются «островки» и «пояса» леса, то многие организмы будут иметь время распространяться между участками и выживать в лесу.

4) Самоподдерживающее лесовосстановление. При выборе растительного материала для лесовосстановления необходимо ориентироваться на сохранение генетической целостности. Этого можно добиться, используя саженцы для плантаций, основываясь на местном генетическом материале. При ведении лесовосстановления необходимо включать широкое разнообразие сред обитания для того, чтобы возрастающая однородность лесной экосистемы не угрожала выживанию видов в будущем.

Cesium and Strontium Uptake by Plants in a Semi-Arid Environment

Robert Fellows
Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington

ABSTRACT

The application of higher plants to remove or stabilize radioactive metal contaminants such as ^{137}Cs and ^{90}Sr has been proposed for the lands surrounding the Chornobyl Nuclear Power Plant. Phytoremediation is a managed, defined technique in which soil geochemistry and the plant/rhizosphere system are inherently dependent on the other. Geochemical interactions are critical governing factors for metal availability within the root zone of plants, and the plants must then have the capacity to accumulate and transport/sequester the metal to a harvestable location. Based on long-term (>40 years) experiments conducted at the 100-F Area of the Hanford Site in Eastern Washington State, some underlying considerations for Cs and Sr phytoremediation were confirmed. Cesium is more recalcitrant within the soil, preferentially being retained within clay micelles, while ^{90}Sr is more mobile and thus more root available. Strontium was accumulated by crop plants (alfalfa) to amounts greater than 100 times that of ^{137}Cs. Further, uptake rates for cropped plants over a 16-year period demonstrated a decline with successive seasons. Possible explanations ranged from leaching past the root zone (^{90}Sr) to sequestration (^{137}Cs). With abandonment of the fields for over 25 years, similar results were evident in the invading native species. The principles observed in these studies have applicability to Chornobyl, even with climatic and soil differences. In our opinion, while the prospects for phytoremediation of ^{137}Cs of small areas are poor at Hanford and will be correspondingly as difficult at Chornobyl, the large expanses of contaminated lands, the already developed infrastructure for the handling of secondary wastes, and the high motivation factor may achieve significant reduction in projected cleanup times. Conversely, we believe ^{90}Sr remediation should have a higher success rate.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Поглощение растениями цезия и стронция в полузасушливой среде

Роберт Феллоус
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, штат Вашингтон

ВЫДЕРЖКИ

Для удаления или стабилизации радиоактивных металлических загрязнений, таких как ^{137}Cs и ^{90}Sr, для земель, окружающих Чернобыльскую Атомную Электростанцию, было предложено использование более высоких растений. Восстановление при помощи растительности является управляемой, определенной техникой, при которой геохимия почвы и система растений / ризосферы неотъемлемо зависят друг от друга. Геохимические взаимодействия являются критически важными определяющими факторами наличия металла в пределах корневой зоны растений, а растения должны после этого обладать возможностью аккумулирования и транспортировки / секвестрации металла в поддающееся рубке расположение. Основываясь на длительных (свыше 40 лет) экспериментах, проводимых в Зоне 100-F Объекта Ханфорд в восточной части штата Вашингтон, получили подтверждения некоторые лежащие в основе соображения по восстановлению при помощи растительности загрязненных цезием и стронцием территорий. Цезий является более неподатливым в почве, будучи преимущественно удерживаемым глинистыми мицеллами, в то время как ^{90}Sr более подвижен и, следовательно, более доступен для поглощения корнями. Стронций скапливался возделываемыми растениями (люцерной) в значениях, превышающих более чем в 100 раз таковые для ^{137}Cs. Более того, темпы поглощения для возделываемых растений на протяжении 16-летнего периода показали снижение с последующими оборотами. Возможные объяснения различались от выщелачивания за пределами корневой зоны (^{90}Sr) до секвестрации (^{137}Cs). На оставленных на протяжении свыше 25 лет полях такие же результаты были очевидны в отношении проникавших природных видов растений. Принципы, наблюдавшиеся в этих изучениях, применимы к Чернобылю, даже при существовании климатических и почвенных отличий. По нашему мнению, несмотря на то, что вероятность восстановления при помощи растительности загрязненных ^{137}Cs малых территорий в Ханфорде низка, и будет представлять соответственно такую же сложность в Чернобыле, большие площади подвергшихся загрязнению земель, уже развитая инфраструктура для обращения со вторичными отходами и высокий мотивационный фактор могут достичь значительного сокращения прогнозируемого времени очистки. И наоборот, мы полагаем, что восстановление при помощи растительности территорий, загрязненных ^{90}Sr, должны достичь высокого успеха.

Cs AND Sr UPTAKE BY PLANTS IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT

Considerations for a Phytoremediation Application

Robert J. Fellows
Calvin C. Ainsworth
USDOE - PNNL

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

WORKING DEFINITION

Phytoremediation is a Managed, Defined, Remediation Technique in Which Plants or Integrated Plant/Rhizosphere Systems are Employed to Extract Soil Contaminants With Minimal Soil Disturbance/Destruction.

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

APPLICATION

- **Phytoremediation (All Metals) - Controlled Use of Plants**
  - **Depends on both soil and plant processes:**
    - » availability - geochemical interactions
    - » plant uptake capacity - nutritional/water status
    - » rhizosphere microbial consortia
  - **Long term potential dependent on:**
    - » continued presence of "available metal" metal in root zone
      - sequestration
      - leaching
    - » maintenance of favorable rhizosphere environment

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

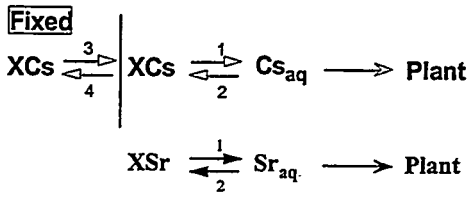
Cs/Sr GEOCHEMISTRY

Isotope(s) (half-lives)	Common Oxidation States	Important Mechanisms in Soil/Water Systems	Important ligands in Aqueous speciation	Soil Mobility (Kd,mL/g)
$^{134,137}Cs$ (2.05, 30.23 yr)	Cs(I)	Cation Exchange	Cs^+ forms very weak complexes with SO_4^{2-} Cl^-, NO_3^-, and organic ligands	Low (540-3180)
$^{89,90}Sr$ (52 d, 28.1 yr)	Sr(II)	Cation Exchange, Precipitation	Sr^{2+} forms weak complexes with SO_4^{2-} Cl^-, NO_3^-, CO_3^{2-} and organic ligands	Medium-High (5-173)

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

Cs/Sr EXCHANGE

- **Natural Linear Release - Difficult to Achieve**
  - Driven Through Surface Charge/Hydration Energy (Lyotropic Series) Cs > Rb > K = NH4 > Na > Li



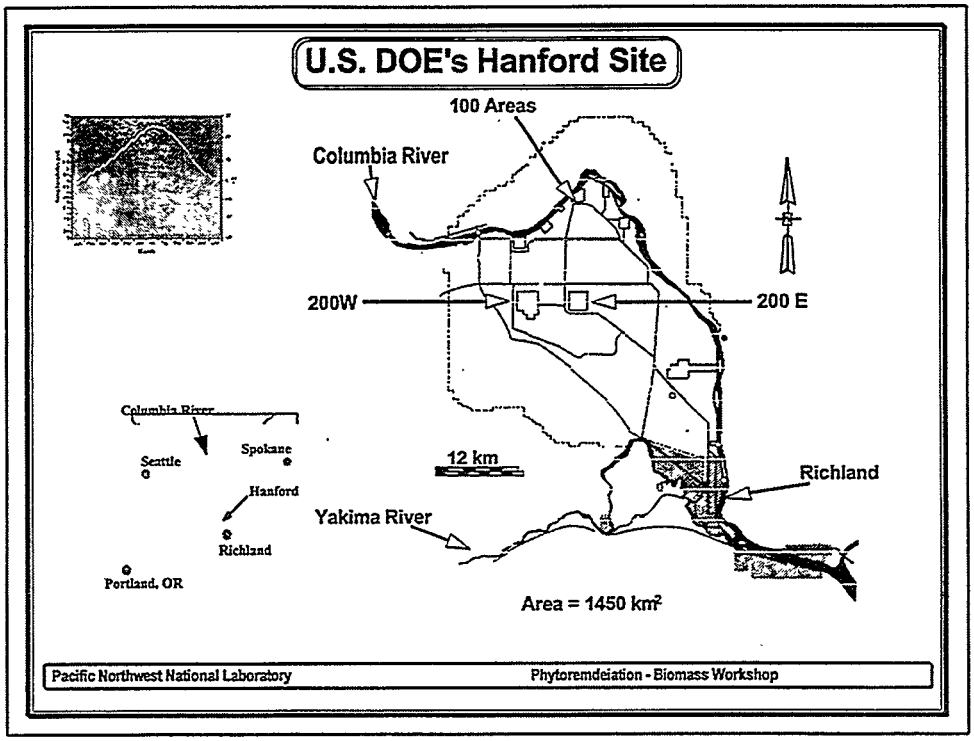
- **Changes in Ratio of ^{88}Sr to ^{90}Sr**
  - Mass Action

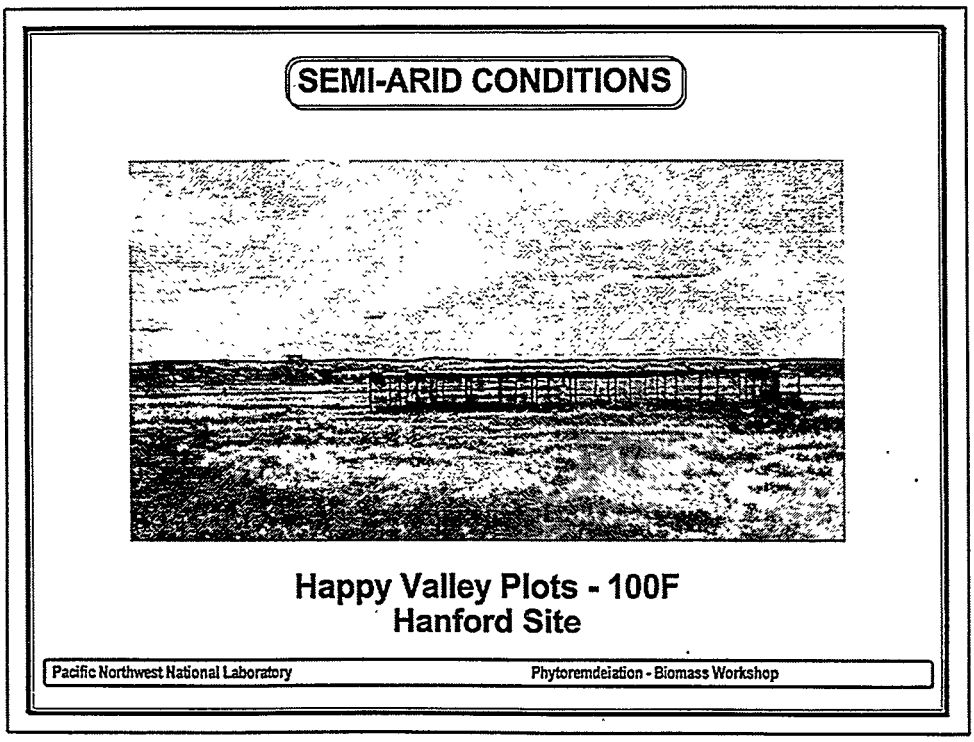
Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

PLANT AVAILABILITY/UPTAKE

- **Types of Plants**
  - Monoculture - "accumulator"
  - Competition
- **Nutritional Status**
  - Ca or K requirements
  - Taken up by same mechanisms - competition for sites
- **Water Movement**
  - transpiration rate increases water flow in soil to root
  - affects soil water concentration

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop


U.S. DOE's Hanford Site
100 Areas
Columbia River
200W
200 E
Columbia River
Seattle
Spokane
Hanford
Richland
Portland, OR
12 km
Richland
Yakima River
Area = 1450 km²
Pacific Northwest National Laboratory
Phytoremdeiation - Biomass Workshop

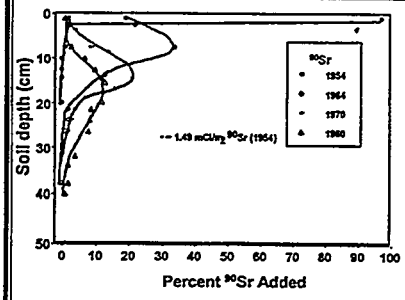

SEMI-ARID CONDITIONS
Happy Valley Plots - 100F
Hanford Site
Pacific Northwest National Laboratory
Phytoremdeiation - Biomass Workshop

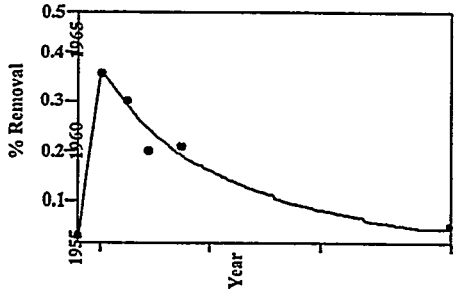
SOIL/PLANT RESULTS

- 43 Year Experiment for ^{90}Sr, 35 Years for ^{137}Cs
  - Cline and Rickard, 1972, Health Phys. 23:317
  - Cline and Cadwell, 1980, Health Phys. 46:1136
  - Ainsworth and Kaplan, 1997, Phytotech, Inc., SBIR Report Phase I
- >60% of Cs Radioactivity in Clay Fractions
- Agricultural Plants Grown Over 16 yrs, Native Vegetation Currently Present
- Current Plant Accumulation Ratios 1.6 For Sr and 4.38 x 10^{-3} For Cs

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

LONG TERM PICTURE

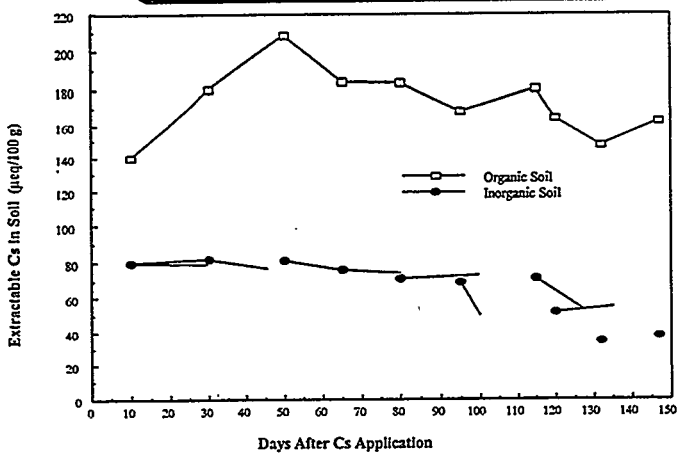




- Alterations of Material in Plant Root Zone
  - leaching
  - sequestration
- Long Term Decline in Crop Uptake Capacity

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

Cs AVAILABILITY OVER TIME



Vereoglou, et al. 1995, Agricult. Ecosys. and Environ., 56:37

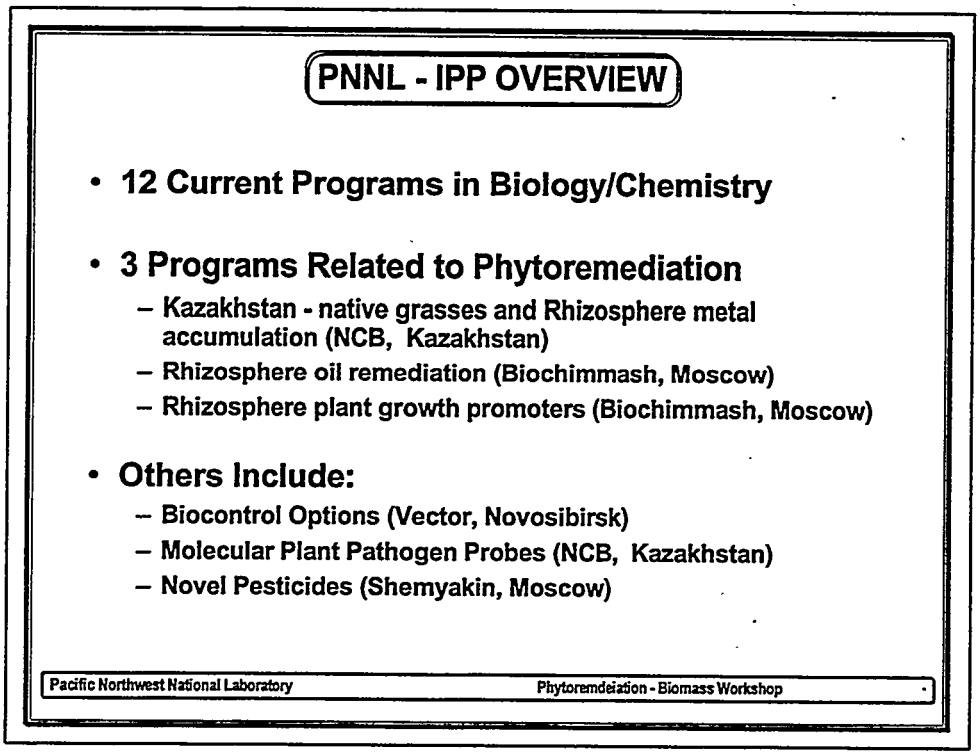
- **Decline evident over time**
  - Previous factors shown even after 150 days

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop

FUTURE PROSPECTS

- **Continued Monocropping May Impair Desired Results**
  - Alterations of Rhizosphere (metal availability)
  - Interspecies competition lost
- **Bottom Line:**
  - In our opinion the prospects for effective Cs are poor in the Hanford Site but may be feasible in the Chornobyl area
    - » large expanse of available contaminated land
    - » good infrastructure to handle secondary wastes
    - » high motivation
  - Sr remediation would have a higher success rate but could be a factor of the naturally occurring soil concentrations

Pacific Northwest National Laboratory — Phytoremdeiation - Biomass Workshop


PNNL - IPP OVERVIEW
• 12 Current Programs in Biology/Chemistry
• 3 Programs Related to Phytoremediation
– Kazakhstan - native grasses and Rhizosphere metal accumulation (NCB, Kazakhstan)
– Rhizosphere oil remediation (Biochimmash, Moscow)
– Rhizosphere plant growth promoters (Biochimmash, Moscow)
• Others Include:
– Biocontrol Options (Vector, Novosibirsk)
– Molecular Plant Pathogen Probes (NCB, Kazakhstan)
– Novel Pesticides (Shemyakin, Moscow)
Pacific Northwest National Laboratory
Phytoremdeiation - Biomass Workshop

Agrotechnological Aspects of Leaf and Stalk Biomass for Generation of Energy

Gennadiy A. Lobach
Technocentre, Ukraine

ABSTRACT

A comparative analysis was performed of a combination of leaves and stalks and timber biomasses as possible sources of raw materials for energy production in the Exclusion Zone. It was demonstrated that these sources are equivalent in the amount of biomass and radionuclides stored in them. Energy balances were calculated for different variants of the technology of the biomass treatment. It was shown that comprehensive technological treatment of the type of biomass, based on its mechanical dehydration, provides for the production of a greater amount of energy than traditional agrotechnology, proposing natural drying of the biomass.

Агротехнологические аспекты использования листостебельной биомассы для получения энергии

Геннадий А. Лобач
ГСП "Техноцентр" (г.Чернобыль)

ВЫДЕРЖКИ

Проведен сравнительный анализ листостебельной и древесной биомассы как возможных источников сырья для получения энергии в Зоне отчуждения. Показано, что эти источники эквивалентны по количеству биомассы и аккумулированны в ней радионуклидам. Рассчитаны энергетические балансы различных вариантов технологии переработки листостебельной. Показано, что комплексная технология переработки листостебельной биомассы, основанная ее механическом обезвоживании, обеспечивает получение большего количества энергии, чем традиционная агротехнология, предполагающая естественную сушку биомассы.

Агротехнологические аспекты использования листостебельной биомассы для получения энергии

Геннадий А. Лобач
ГСП "Техноцентр" (г.Чернобыль)

Одной из основных целей украинско-американского проекта фиторемедиации территории Зоны отчуждения (CEZ) с получением энергии из растительной биомассы (Ukraine/USA CEZ surface Contamination Clean-Up Programm) является минимизация экологической опасности Зоны отчуждения, в частности, предотвращение распространения радионуклидов за ее пределы и, в первую очередь, элиминирование загрязнения грунтовых вод вследствие вертикальной миграции радионуклидов. Для этого предполагается использовать естественную способность растений (деревьев и трав) поглощать радионуклиды из почвенного раствора при помощи корневой системы и аккумулировать их в надземной биомассе. Во избежание возврата транслоцированных радионуклидов в почву с растительным опадом предполагается разорвать естественный биологический цикл радионуклидов путем сбора биомассы растений-деконтаминантов и использовать ее в топливно-энергетическом цикле для получения тепловой и электрической энергии.

Проект ориентирован на использование нескольких видов сырья для топливно-энергетического цикла:

- накопленных запасов радиоактивно загрязненной технической древесины,
- древесного опада (лесной подстилки),
- древесной биомассы, получаемой при проведении лесоохранных и лесоводческих мероприятий (расчистка лесных массивов, санитарные вырубки леса и т.д.)
- листостебельной биомассы сеяных и луговых трав.

Первые два источника (запасы древесины и древесный опад) формировались в течение нескольких лет и их предполагается использовать на начальном этапе реализации проекта. На последующих этапах для получения энергии предполагается использовать воспроизводимые источники сырья (древесную и листостебельную биомассу, продуцируемую в течение вегетационного периода на территории CEZ). Сравнение этих источников показывает (рис.1), что луговая растительность по количеству продуцируемой надземной биомассы и аккумулируемым ею радионуклидам не уступает и даже превосходит (^{90}Sr) лесные массивы.

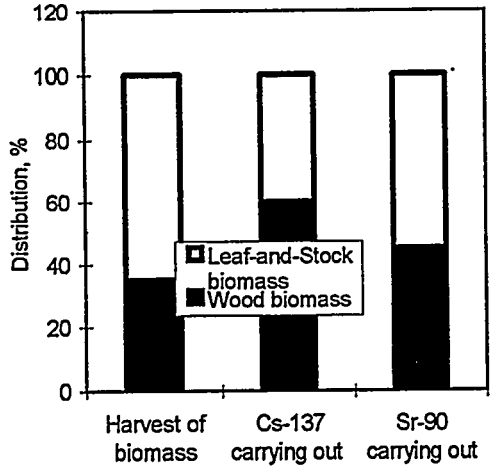


Рис.1.Соотношение между древесной и листостебельной биомассой, продуцируемой за год лесными массивами и луговой растительностью, а также между суммарными количествами аккмулируемых ими радионуклидов

Таким образом, растительность лугов и бывших агроландшафтов CEZ по крайней мере эквивалентна лесным массивам по выносу радионуклидов из почвы и по продуцированию биомассы - сырья для получения энергии.

Энергетический эквивалент листостебельной и древесной биомасс определяется содержанием в них основных органических компонентов (клетчатки, растворимых углеводов, белков, свободных аминокислот, жиров) различающихся по удельной теплотворной способности и химической лабильности (способности разлагаться в ходе эндогенных процессов). По своему химическому составу листостебельная биомасса трав существенно отличается от древесной биомассы . Прежде всего влажность листостебельной биомассы трав (75-85%) существенно выше, чем содержание влаги в древесной биомассе (30-45%). Поэтому листостебельная биомасса сразу после скашивания не может быть непосредственно использована в топливно-энергетическом цикле. Необходимо удалить избыточную влагу, что достигается при традиционной агротехнологии сеяных и луговых трав в результате естественной гелиосушки скошенной биомассы непосредственно на поле. Вторая характерная особенность листостебельной биомассы состоит в том, что содержание в ней таких лабильных компонентов, как белки и растворимые углеводы , существенно выше, чем в древесной биомассе. В то же время основной стабильный компонент древесной биомассы (клетчатка) присутствует в листостебельной биомассе в меньших количествах (таблица 1).

Особенности химического состава листостебельной биомассы обуславливают то, что ее энергетический эквивалент в значительной степени определяется лабильными компонентами (рис.2).

Таблица 1. Химический состав древесной и листостебельной растительной биомассы (% в сухом веществе)

Растение	Продукт	Влажность	Белок	Жир	Клетчатка	Углеводы	Зола
Липа	Ветви	33.52	8,72	3,07	51,21	2,32	5,04
Осина	Ветви зимние	44,34	4,91	6,14	40.05	3,61	3,05
Рожь озимая	Листья и стебли	87,23	18,92	5,77	32,96	5,12	10,48
Горох	Листья и стебли	77,62	10,05	2,68	25,57	13,24	11,11
Суданская трава	Листья и стебли	83,32	13,34	5,16	27,50	7,77	12,17
Соя	Листья и стебли	80,14	17,97	4,30	27,94	3,88	21,64
Донник белый	Листья и стебли	77,00	13,48	3,91	21,73	6,45	8,26
Клевер красный	Листья и стебли	77,82	13,96	4,05	22,52	5,98	7,66

В процессе гелиосушки листостебельной биомассы, которая длится обычно несколько дней, происходит разложение значительной части (до 30-40%) лабильных компонентов. Вследствие этого энергетический эквивалент листостебельной биомассы существенно понижается . Кроме того, при сборе высушенной биомассы на поле (сенажировании) ее механические потери также весьма значительны (до 20%). Таким образом, использование традиционной агротехнологии сеяных и луговых трав в структуре комплексной технологии фиторемедиации агроландшафтов CEZ и получения энергии из растительной биомассы нецелесообразно, поскольку при этом

- снижается выход энергии с единицы площади агроландшафта;

- происходит возврат части радионуклидов,аккумулированных биомассой, в почву с теряемой в процессе сбора высушенной биомассой.

Очевидно необходимо исследовать альтернативные варианты переработки листостебельной биомассы , которые позволили бы исключить потери энергонесущих компонентов биомассы и более эффективно использовать ее в качестве сырья для топливно-энергетического цикла.

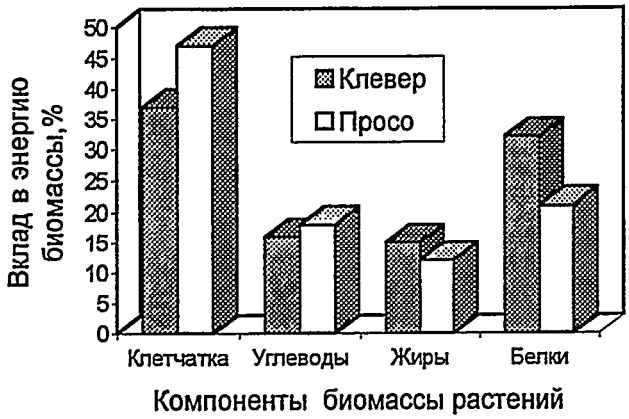


Рис.2. Вклад (%) компонетов в энергетический эквивалент листостебельной биомассы

Решение этой задачи, по нашему мнению, состоит в использовании комплексной технологии, включающей «влажное фракционирование» растительной биомассы (ТЕХНОЛОГИЯ 1) , получение биогаза-энергоносителя (ТЕХНОЛОГИЯ 2) и пиролитическую газификацию или сжигание растительной биомассы (ТЕХНОЛОГИЯ 3). Концепция «женитьбы технологий» представлена на рисунке 3.

ТЕХНОЛОГИЯ 1. Содержащая радионуклиды листостебельная биомасса растений-деконтаминантов непосредственно после скашивания подвергается измельчению и прессованию с получением пресс-остатка и клеточного сока. В результате этой операции влажность пресс-остатка понижается практически до уровня влажности древесной биомассы (таблица 2).

Таблица 2. Баланс влаги (W) и сухого веществ (adm) листостебельной биомассы при механическом обезвоживании (измельчении и прессовании)

Растение	Горох			Ячмень		
Продукт	Содер-жание	Баланс		Содер-жание	Баланс	
	adm,%	adm	W	adm,%	adm	W
Фитомасса	22,38	100	100	22,86	100	100
Пресс-остаток	29,16	82,13	42,52	32,18	77,95	41,00
Клеточный сок	10,81	9,02	57,48	8,74	22,05	59,00

В пресс-остатке концентрируются химически стабильные компоненты биомассы. Большая часть воды и лабильных компонентов биомассы при прессовании переходит в клеточный сок, подвергающийся дальнейшему фракционирования, в процессе которого из него выделяют концентраты растительных белков и биологически активных компонентов. ТЕХНОЛОГИЯ 1 исходно была разработана для получения экологически чистых кормовых белково-витаминных концентратов из радиоактивно загрязненной листостебельной биомассы сеяных и луговых трав. Она прошла полупромышленную

проверку в CEZ в 1991 году (г.Припять) и была рекомендована для промышленного внедрения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС.

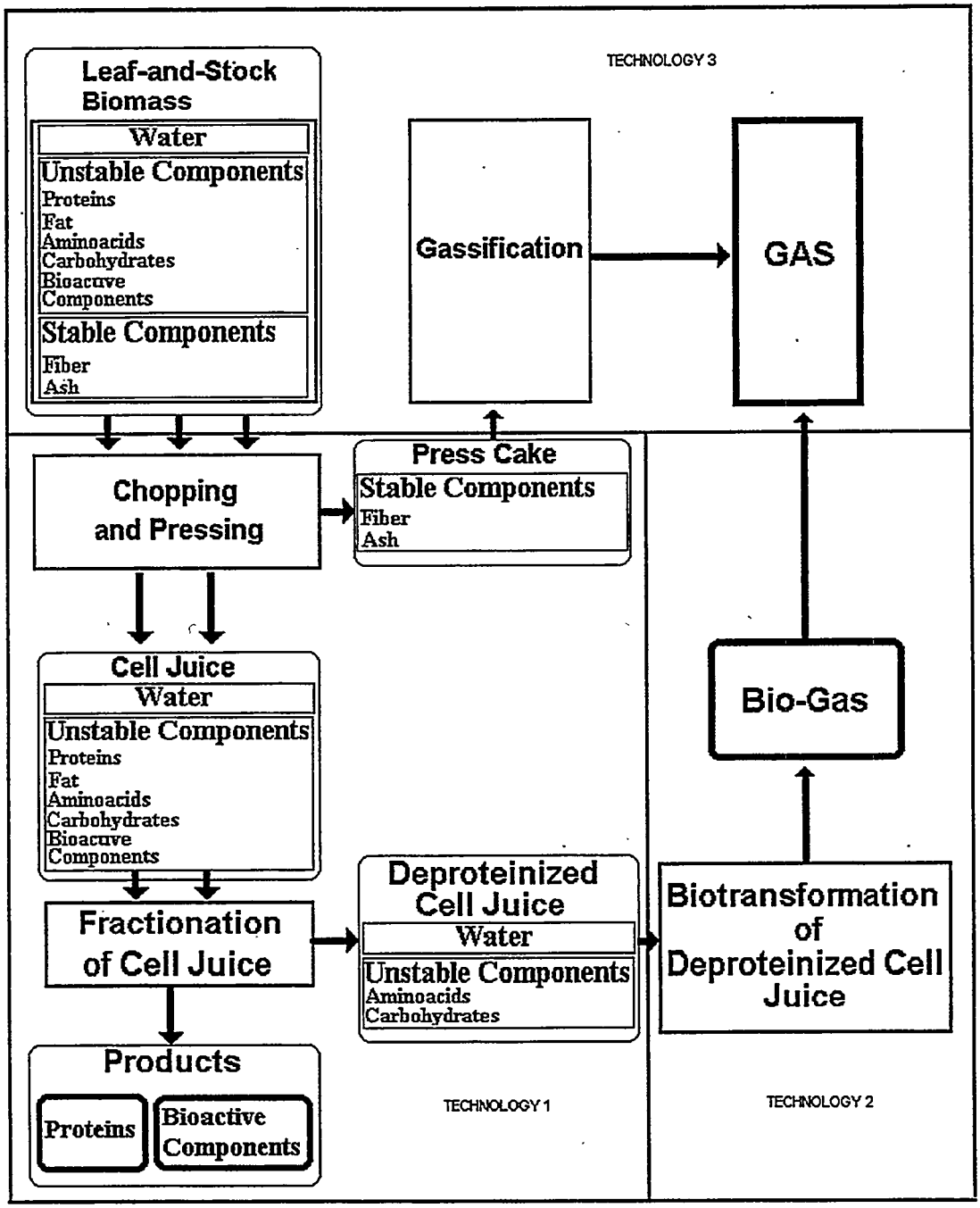


Рис.3. Концепция «женитьбы технологий» = ТЕХНОЛОГИЯ 1 + ТЕХНОЛОГИЯ 2 + ТЕХНОЛОГИЯ 3.

Технология 1 позволяет получать эти продукты с остаточным содержанием радионуклидов в 100-200 раз ниже их содержания в исходной листостебельной биомассе.

Нами показано, что пресс-остаток можно использовать в качестве биосорбента для очистки водных сред от щелочноземельных и переходных металлов (таблица 2).

Продолжительность технологического цикла фракционирования листостебельной биомассы и депротеинизации клеточного сока составляет 30 минут. Тем самым исключаются потери энергонесущих компонентов листостебельной биомассы в результате эндогенных процессов разложения. В результате энергетический эквивалент пресс-остатка , даже с учетом того, что часть энергонесущих компонентов фитомассы была перешла в клеточный сок, оказывается выше, чем сена, получаемого по традиционной агротехнологии сенажирования, основанной на гелиосушке (таблица 3).

Таблица 2. Собционные характеристики пресс-остатка (при гидромодуле 10:1)

Сорбируемый ион	Концентрация ионов металла в растворе, мг/литр		Сорбционная емкость	
	исходная	конечная	мг/сорбента	$*10^5$,г-экв металла/ г сорбента
Ni	294	15.4	1.39	4.74
Pb	1036	10.0	5.13	4.95
Co	295	13.0	1.41	4.78
Cd	562	32.8	2.65	4.72
Cu	320	5.5	1.58	4.94
Sr	438	14.0	2.12	4.84

Таблица 3, Теплотворная способность (МДж/кг adm) листостебельной биомассы, пресс-остатка и сена люцерны.

Листостебельная биомасса	Пресс-остаток	Сено
22.62	17.23	15.83

ТЕХНОЛОГИЯ 2. Депротеинизированный клеточный сок содержит преимущественно растворимые легко гидролизуемые углеводы и свободные аминокислоты. По своему химическому составу он соответствует оптимальным субстратам для выращивания метансинтезирующих бактерий. Поэтому депротеинизированный клеточный сок целесообразно использовать для получения биогаза-энергоносителя. Из 1 $м^3$ депротеинизированного клеточного сока можно получить до 10 $м^3$ биогаза в сутки. ТЕХНОЛОГИЯ 2 была исходно разработана для утилизации депротеинизированного клеточного сока при получении кормовых и пищевых белковых концентратов из листостебельной биомассы сеяных и луговых трав. Эта технология апробирована в полупромышленных масштабах на Украине (г.Запорожье).

ТЕХНОЛОГИЯ 3 пиролитической газификации может быть использована для получения энергии из листостебельной биомассы после гелиосушки (традиционная агротехнология, вариант А). Более целесообразно использовать эту технологию для утилизации пресс-остатка после его использования в качестве биосорбента для очистки техногенных вод от тяжелых металлов и радионуклидов. В этом случае протеиновые концентраты, получаемые из клеточного сока, используются для скармливания сельскохозяйственным животным (вариант В). При этом часть энергонесущих компонентов исключается из топливно-энергетического цикла и используется в биологической пищевой цепи с несколько более низким коэффициентом трансформации энергии белка в энергию биомассы животного. При необходимости получения максимального количества тепловой и электрической энергии из растительной биомассы можно использовать в топливно-энергетическом цикле не только пресс-остаток

(биосорбент), но также выделяемые из клеточного сока продукты (вариант С). Рассчитаны энергетические балансы перечисленных вариантов А, В и С технологии получения энергии из листостебельной биомассы сеяных и луговых трав с учетом затрат энергии внутри технологического цикла. (рис.3). Как видно из рисунка, комплексная технология (варианты В или С) позволяет получать почти в полтора раза больше энергии, по сравнению с традиционной технологией (вариант А).

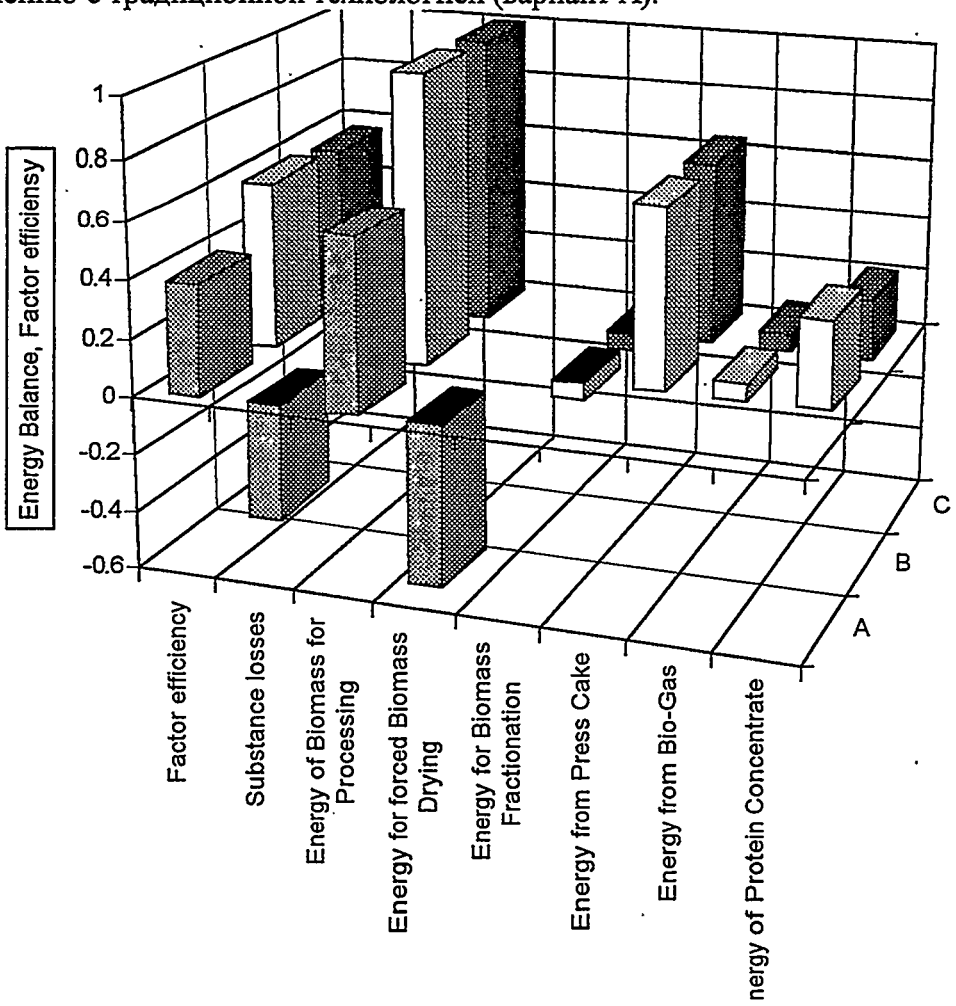


Рис.3. Энергетические балансы вариантов комплексной технологии

Таким образом, реализация концепции "женитьбы технологий" для получения энергии из листостебельной биомассы растений-деконтаминантов позволит

- увеличить выход энергии с единицы площади агроландшафта за счет снижения химических и механических потерь биомассы и снижения энергозатрат внутри технологического цикла, связанных с принудительной сушкой биомассы;
- получать одновременно с энергией экологически чистые продукты (кормовые белково-витаминные концентраты, концентраты биологически активных веществ) из загрязненной радионуклидами листостебельной биомассы растений-деконтаминантов;
- исключить характерный для традиционной агротехнологии возврат в почву части аккумулированных растениями радионуклидов с растительным опадом.

Forestry and Technological Concepts of Collection, Transport, and Primary Processing of Forest Biomass in the Chornobyl Zone

V. Berchiy
Yuriy I. Murav'ev
State Company Chornobyl'les, Ukraine

Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Technical Center for International Research, Ukraine

ABSTRACT

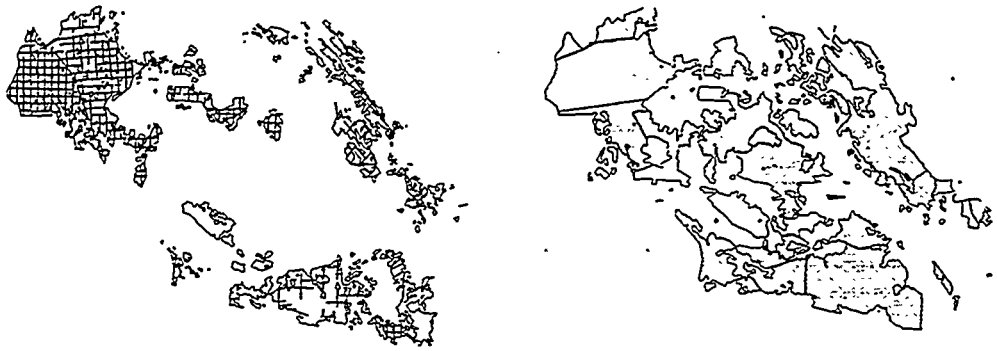
No abstract was provided for this paper.

Лесоводственные аспекты обращения с лесной биомассой в Чернобыльской зоне отчужденния

В.И.Берчий[1], Н.Д.Кучма[2], В.И.Муравьев[1]

1) ГП «Чернобыльлес», 2)ЧеНЦМИ

В далеком прошлом территория зоны отчуждения была полностью покрыта лесами. Ее освоение сопровождалось массовым лесоистреблением, в результате чего в 1913 г. лесистость центральной части зоны снизилась до 11-12%.(рис.1) Планомерные работы по лесовосстановлению начались в 1920-х гг., но площадь массовый характер они приобрели в 50-60-х гг., что позволило в 4 раза увеличить лесных насаждений .



1913 год 1983 год

Рисунок 1. Карта-схема лесов зони отчуждения

До аварии искусственные и естественные агроценозы занимали 80 % территории 30-км зоны. Из них леса составляли - 36%, богарные агроценозы - 27,5%, луга и травяные болота - 18%. Около 10% территории занимали мелиорированные земли. Относительно большую площадь занимали искусственные водоемы - 2,8%.

Через десять лет после аварии, структура земель достаточно сильно изменилась, в основном, в связи с залесением бывших сельхозугодий. В несколько раз увеличилась территория, отчуждённая под различные технические сооружения, дороги и т.д. Современное состояние структуры земель показано в табл. 1.

Таблица 1. Структура земель зоны отчуждения

Категории земель	%
1. Земли, покрытые лесами	48.5
- сосновыми	38.6
- лиственными	9.9
2. Земли, не покрытые лесом	33.3
- горельники	3.5
- вырубки	0.3
- залежи, луга (бывшие сельхозугодья)	29.5
3. Другие лесные земли	1.1
4. Болота, пески	2.6
5. Водные объекты	8.5
- пруд-охладитель	1.2
6. Населенные пункты, дороги и т.д.	6.0
Итого:	100.0

Таблица 2. Распределение площади лесов по типам лесорастительных условий.

Трофотопы, %	Гигротопы, %					
	сухие (1)	свежие (2)	влажные (3)	сырые (4)	мокрые (5)	Итого
Боры (A) очень бедные почвы	9,3	38,7	0,6	0,1	–	48,7
Субори (B) относительно бедные почвы	1,2	27,7	6,4	1,3	0,04	36,6
Сугрудки © средне богатые почвы	–	2,6	5,4	5,8	0,3	14,1
Груды (D) богатые почвы	–	0,003	0,3	0,2	0,1	0,6

Сейчас лесные угодья занимают половину территории зоны отчуждения. Бедные и относительно бедные местопроизрастания (боры и субори) составляют 85% от общей площади лесов и представлены, в основном, сухими и свежими гигротопами (табл.2). Типично гидроморфные участки (сырые и мокрые гигротопы) занимают 7.8% общей площади лесных земель. Сосновые насаждения составляют около 80% лесов (табл.3). Увеличение в последнее время доли лиственных пород связано с более интенсивным естественным их возобновлением на залежных землях.

Основные изменения, произошедшие за послеаварийный период, связаны с радиационным повреждением лесов (около 1,5 тыс. га), лесными пожарами (17 тыс. га), ветровалами, буреломами, развитием очагов вредителей и болезней и т.д. (табл.3).

Таблица 3. Динамика породного состава лесов ,%

Порода	Годы		
	1937	1964	1997
Сосна	61,69	63,40	58,60
Ель	0,04	0,03	0,10
Дуб	9,44	7,42	5,30
Граб	0,32	0,28	0,10
Береза	14,78	13,46	22,50
Осина	3,15	3,31	1,00
Ольха	10,59	10,93	7,10
Тополь, робини, верба и т.д.	0,00	1,16	5,30
Всего	100,0	100,0	100,0

Полное прекращение ухода за насаждениями привело к резкому ухудшению санитарного состояния древостоев. Создаваемые с расчетом на интенсивный и регулярный уход древостои оказались значительно перегущенными (табл.5) и нуждаются в прпореживании.

Учитывая ведущую роль лесов, как фактора стабилизации радиоэкологической обстановки и реабилитации территории, возникла острая необходимость разработать и реализовать реализовать специализированную систему ухода за насаждениями, обеспечивающую поддержание их устойчивости и повышение средообразующих и защитных функций.

Таблица 3. Причины повреждения и гибели лесов в зоне отчуждения

Факторы	Площадь, тыс.га
Радиационное поражение	1.5
Лесные пожары всего	17
в т.ч. верховые	4.2
Подтопление	2
Ветровалы и буреломы в растущих лесах	0.5% общей массы
Вредители и болезни в растущих лесах	0.2% общей массы

Таблица 4. Таксационная характеристика средневозрастных сосновых древостоев, A_2

Режим ведения лесного хозяйства	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота,м	Густота, шт/га	Запас, куб.м
контролируемый	**33**	**10,6**	**13,0**	**3996**	**230,1**
ограниченый	**36**	**11,4**	**11,8**	**3453**	**222,7**
охранный	**28**	**11,3**	**10,6**	**3565**	**231,2**
Оптимальный	**35**			**1500-2000**	

На основании материалов о пространственном загрязнени территории, уровнях содержания радионуклидов в лесной продукции, условиях работы персонала, перспективах реабилитации земель разработана и реализована система районирования лесов по режимам эколого-лесоводственного ухода. Она предусматривает выделение трех режимов ведения лесного хозяйства: контролируемого, ограниченного, охранного (заповедного) (таблица 5.).

Таблица 5. Режимы ведения специализированного эколого- лесоводственного ухода в зоне отчуждения

Режим ухода	Плотность загрязнения, Ки/кв.км		
Контролируемый	Cs-137 - < 40	Sr-90 -< 3	Pu-239 - < 0.1
Ограниченный	Cs-137 - 40-100	Sr-90 - 3-10	Pu-239 - 0.1- 0.3
Охранный (заповедный)	Cs-137>100	Sr-90 - > 10	Pu-239 > 0.3

Районирование проведено на базе карт загрязнения территории Зоны отчуждения по основным дозообразующим радионуклидам. Утвержденная карта-схема представлена на рисунке 2. Данная схема использована при проведении лесоустройства в 1997 году и последующем обобщении материала.

Восстановление специализированной системы ухода за лесами позволило стабилизировать пожарную ситуацию и предотвратить возникновение новых пожаров., приступить к реализации системы мероприятий по уходу за древостоями. .

Для реализации стратегических предположений по разработке программ реабилитации была составлена карта почв зоны отчуждения, как основа для моделирования и прогнозирования процессов миграции и накопления радионуклидов, которая в сочетании с данными полевых обследований стала основой для составления карты типов лесорастительных условий. Каждому контуру карты сопоставлена как

агрохимическая информация (pH, гумус, мехсостав, степень увлажнения и др.), так и радиоэкологическая информация (КП цезия, стронция КП в основные элементы лесных биоценозов, в травосмеси залежных земель зоны отчуждения,).

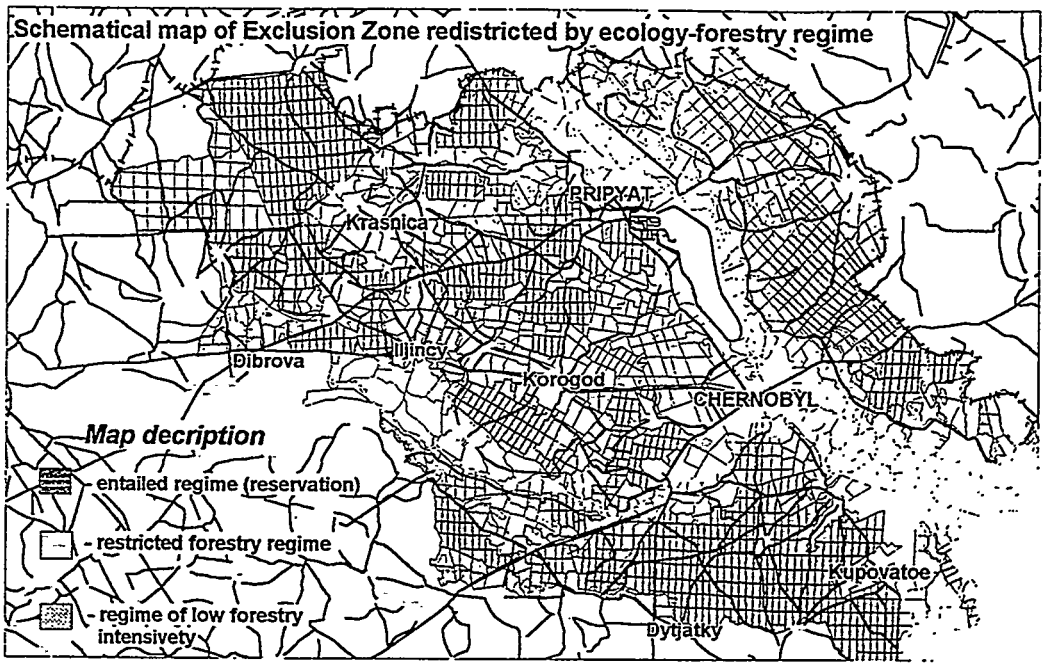


Рисунок 2. Карта-схема районирования лесов

На этой основе проведена оценка запасов и загрязнения наиболее вероятных биоресурсов. Оценка запасов биомассы лесных фитоценозов проводилась на примере наиболее распространенных для зоны отчуждения модальных средневозрастных сосновых насаждений. Использованы результаты повыдельной таксации более 2 тыс. лесных выделов, которые обобщены в базе данных. Рассчитаны биометрические характеристики в зависимости от возраста, высоты, диаметра насаждений.

Апробированы три модели для расчета абсолютно сухого веса фракций фитомассы по таксационным характеристикам. Расчеты запасов фитомассы проводились с учетом районирования территории зоны по уровням эколого-лесоводческого ухода. Запасы фитомассы на безлесных территориях (залежи, луга и т.д.) рассчитывались в соответствии с геоботанической классификацией данных объектов и путем экспериментального определения запасов разных фракций травостоя.

Для расчета запасов радионуклидов в каждой из фракций фитомассы использованы обобщенные материалы, собранные в базе данных ЧеНЦМИ за последние годы. Обобщение и анализ данных проводились с использованием ГИС-технологий, в частности пакета программ «MapINFO». Общие оценки состояния биоресурсов и их загрязнения приведены в таблице 6.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что реальные запасы биомассы древесины более чем на порядок превышают запасы травянистых растений. Общее распределение биомассы между районами с разным режимом использования сходно, что свидетельствует о возможности организации использования биоресурсов отдельно для каждой зоны. Запасы радионуклидов в фитомассе разных районов существенно отличаются. Запас ^{137}Cs в фитомассе лесных насаждений почти в 100, а ^{90}Sr в 25 раз

превышает их запасы в фитомассе луговой растительности. Запас радионуклидов в хвое и листве, в связи с высокими коэфициентами накопления, почти равняется запасу в древесине. Прогнозные модели накопления радионуклидов показывают, что в ближайшее время существенных изменений в загрянении лесной растительности ^{137}Cs не произойдет. Содержание ^{90}Sr продолжает возрастать, поэтому при технико-экономических расчетах необходимо учесть возможность возрастания затрат на очистку отходов производства с возрастающим участием радиостронция.

Таблица 6. Обобщенные оценки состояния биоресурсов зоны отчуждения, с учетом лесохозяйственного районирования

	Контроли-руемый режим	Ограничен-ный режим	Охраный (Заповедный) режим	Всего
Площадь залесенной территории, %	34,2	29,4	36,3	100
Площадь лугов и залежей, %	39,2	34,6	26,1	100
Запас биомассы в древесине (тыс.т)	2630	2260	2790	7680
Запас биомассы хвои (тыс.т)	240	200	250	690
Запас биомассы травостоя	130	110	80	320
Запас ^{137}Cs в древесине, ТБк	2,919	8,780	46,450	58,149
Запас ^{137}Cs в хвое, ТБк	2,664	7,770	41,620	52,054
Запас ^{137}Cs в травостое, ТБк	0,096	0,285	0,888	1,269
Запас ^{90}Sr в древесине, ТБк	2,189	6,271	38,710	47,170
Запас ^{90}Sr в хвое, ТБк	0,399	1,110	6,937	8,446
Запас ^{90}Sr в травостое, ТБк	0,144	0,407	1,480	2,031

Установлено, что в реально сложившейся экономической ситуации основной упор должен быть сделан на наличные и перспективные запасы древесного сырья.

Этот вывод обоснован и с радиологической точки зрения. Приведенные в таблице данные свидетельствуют о большей перспективности лесных ресурсов для обеспечения сырьевых и энергетических потребностей. Наличные запасы древесины на порядки превосходят существующие запасы травянистой биомассы и с точки зрения дезактивации позволяют однократно убрать такое же количество радионуклидов как и годичной фитомассой трав. Однако лесной сценарий дает огромный выигрыш в технологических и материальных затратах, поскольку не требует присутствия человека и затрат на протяжении 30-50 лет на конкретном участке.

Распределение запасов биоресурсов по различным районам позволяет реализовать различные сценарии энергетических программ - от условно чистых до абсолютно грязных. Места производства энергии и теплоресурсов будут базой для социально-экономической реабилитации территории.

Проведенные расчеты убедительно показали, что лесной сценарий использования территории зоны отчуждения более перспективный как в виду отсутствия производства продуктов питания, так и ввиду перенесения сроков получения конечной товарной продукции на 50-80 лет.

Исследованиями определены лимитирующие факторы, накладывающие ограничения на реальные возможности ведения работ в условиях радиоактивного загрязнения. Кроме общепринятых требований к загрязнению продукции, в первую очередь это ингаляционное поступление радионуклидов в организм при производсте работ.

Наличие радионуклидов во всех компонентах лесного ценоза всегда обуславливает их постоянное присутствие в воздухе приземного слоя воздуха.

Современные бьемные концентрации всех радионуклидов в воздухе выше, чем доаварийные Концентрация радионуклидов в лесу в обычных условиях не превышает допустимых уровней, однако ее абсолютные значения выше, чем на безлесных территориях (таблица 7).

Таблица 7. Концентрация радионуклидов в приземном слое воздуха , Ки/л

Радионуклиды	Лелев,кв.73	Черевач,кв 120	Чернобыль	$ДК_Б$
^{137}Cs	6.6×10^{-18}	9.1×10^{-18}	1.9×10^{-18}	4.9×10^{-13}
^{90}Sr	2.3×10^{-18}	3.5×10^{-18}	9.9×10^{-19}	4.0×10^{-14}
$^{238,239,240}Pu$	1.2×10^{-19}	1.9×10^{-19}	2.7×10^{-20}	3.0×10^{-17}

Это объясняется постоянной жизнедеятельностью лесной биоты, благодаря которой в воздухе находятся мелкодисперсные радиоактивные частицы. Однако, при лесных пожарах концентрации радионуклидов в воздухе могут повышаться более чем в 5 раз даже на удалении 5-6 км от места горения, а непосредственно вблизи фронта горения достигать критических значений.

В случае проведения лесохозяйственных работ концентрация радионуклидов существенно изменяется (табл.8, 9)

Таблица 8. Концентрация радионуклидов в рабочей зоне при валке и раскряжевке леса ,

Обьект	^{239}Pu, Ки/л	^{240}Pu, Ки/л	^{137}Cs, Ки/л
Ново-Шепеличи,квартал 188: плотность загрязнения ^{137}Cs - 270 Ки/км^2 $^{238,239,240}Pu$ - 3.7 Ки/км^2	1.4×10^{-13}	7.1×10^{-14}	1.1×10^{-14}
Опачичи, квартал 129: плотность загрязнения ^{137}Cs - 4 Ки/км^2 $^{238,239,240}Pu$ - 0.05 Ки/км^2	7.0×10^{-16}	3.4×10^{-16}	1.2×10^{-14}

При валке и раскряжевке древесины концентрации радионуклидов в воздухе рабочей зоны приближаются к критическим концентрациям. Они обусловлены наличием крупнодисперсных частиц, образующихся при измельчении коры , древесины, а также в результате подьема пыли с поверхности почвы.

Таблица 9. Содержание радионуклидов в воздухе при трелевке древесины (Черевач, кв.120, ^{137}Cs - 3.6 Ки/км^2)

Операция	Превышение над фоном, раз
на участке	50
в кабине трактора	150-400

При трелевке древесины существенное повышение концентрации радионуклидов отмечается в кабине трелевщика. Оно обусловлено засасыванием пыли при производстве работ. Использование техники с герметичными кабинами может полностью исключить ингаляционное поступление радионуклидов в организм работников.

Анализ существующих материалов свидетельствует о доминирующей роли лесного сценария в решении вопросов ремедиации загрязненных территорий. Однако нельзя считать окончательно решенным вопрос о «луговом» аспекте использования загрязненных земель, поскольку в технологическом варианте (на достаточно .более крупной территории) этот вопрос не отработан.

Fast Growing Short Rotation Woody Crop Systems for Phytoremediation of Radionuclides

Gerald Tuskan
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee

ABSTRACT

Phytoremediation is the use of plants and/or plant systems to manage or manipulate contaminants in soil and water in an effort to restore economic value to corrupted environments. Phytoremediation involves phytoextraction, phytostabilization, phytosequestration, and rhizofiltration. Phytoextraction is the concentration of contaminants into harvestable portions of plant biomass. Phytostabilization is the use of plants to reduce offsite movement of contaminants due to wind or water-based soil movement. Phytosequestration is the binding of contaminants to plant membranes or non-harvestable portions of a plant. Rhizofiltration is the use of plant root systems in an aqueous environment to remove contaminants from water. The objectives of phytoremediation are ecological and economic restoration of contaminated sites. Phytoremediation is often the least costly option for cleaning large sections of land.

Short-rotation woody crop (SRWC) silvicultural systems involve intensive site preparation, extensive chemical, mechanical, or physical weed control, the use of fertilization (50 kg N per ha per year and 100 kg P per ha once per rotation), possible supplemental drip irrigation (up to 90 cm per year), and mechanical harvesting and processing. Rotation lengths vary depending upon spacing and productivity. Typically, trees are established on a conventional spacing of 2.5 m × 2.5 m and harvested in 5 to 10 years, or they are established in a twin-row high-density spacing (37,000 stems per ha) and harvested once every 3 years. At the closer spacing (i.e., higher densities), the harvested stems are allowed to coppice and complete multiple harvests over 20+ years. Productivity rates under either SRWC system range between 15 and 22 dry tons of harvestable biomass per ha per year under experimental conditions and between 10 and 15 dry tons per ha per year under operational conditions. Potential species include hybrid poplar, hybrid willow, silver maple, birch, and alder.

SRWC systems, particularly the twin-row high-density coppice system, offer several advantages during phytoremediation. First, the rapid growth and establishment reduce wind and water erosion, providing phytostabilization of contaminated sites. Second, the long-term perennial nature of the crop and minimum site entry during production (i.e., 3-4 times in the first year and 1-2 times per year for years 3 through 21) reduce human exposure and the opportunity of offsite movement of contaminants. Third, supplemental drip irrigation allows for fertilizer and pesticides to be applied automatically at optimum times, again reducing human exposure to contaminants. Drip irrigation also creates a high transpiration stream, moving the contaminant into and through the plant tissues. Fertilizer rates can also be optimized to allow maximum uptake of radiocontaminants such as cesium and strontium. That is, potassium and calcium can be withheld and nitrogen can be supplied as ammonium. Fourth, coppice regrowth creates numerous active growing regions that function as metabolic sinks for contaminants. These factors in combination maximize phytoextraction potential. Furthermore, contaminant concentration (mg of the contaminant per kg of plant tissue) and content (mg of the contaminant per unit area) are maximized by using genetically selected clonal planting stock and silvicultural manipulation of the environment. Finally, an economic commodity is created, i.e., biomass feedstocks for energy conversion. That is, SRWC used for phytoextraction, phytostabilization,

or rhizofiltration can be harvested and placed into a biomass power plant to create electricity, thus restoring economic value to the contaminated land.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Системы быстрорастущих возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом для восстановления при помощи растительности при загрязненьях радионуклидами

Джеральд Тускан
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок–Ридж, штат Теннесси

ВЫДЕРЖКИ

Восстановление при помощи растительности представляет собой использование растений и / или растительных систем для борьбы с загрязняющими веществами в почве и воде или для воздействия на такие загрязняющие вещества с целью восстановления экономической ценности подвергшейся загрязнению среды. Восстановление при помощи растительности включает в себя фитоэкстракцию, фитостабилизацию, фитосеквестрацию и ризофильтрацию. Фитоэкстракция является концентрированием загрязняющих веществ в поддающиеся сбору части растительной биомассы. Фитостабилизация представляет собой применение растений для снижения передвижения загрязняющих веществ с места их нахождения в результате ветра или подвижек водянистой почвы. Фитосеквестрация заключается в связывании загрязняющих веществ растительными мембранами или не поддающимися сбору частями растения. Ризофильтрация заключается в применении корневых систем растений в содержащей воду среде для удаления из воды загрязняющих веществ. Задача восстановления при помощи растительности заключается в экологическом и экономическом восстановлении подвергшихся загрязнению мест. Восстановление при помощи растительности зачастую является наименее дорогим вариантом очистки обширных земельных площадей.

Лесоводческие системы возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом включают интенсивную подготовку места насаждения, экстенсивные химические, механические или физические меры по борьбе с сорняками, применение удобрений (50 кг N на гектар в год и 100 кг P на гектар раз в севооборот), возможное дополнительное капельное орошение (до 90 см в год) и механические сбор и переработку. Продолжительность севооборота зависит от расстояния между растениями и их продуктивности. Как правило, деревья высаживаются на обычных участках 2,5 м x 2,5 м и их вырубка производится через 5 - 10 лет, или же деревья высаживаются при двухрядной плотной посадке (37.000 саженцев на гектар) и их вырубка производится каждые 3 года. При более плотной высадке (т.е. при более высокой густоте) вырубаемым стволам дается возможность создать поросль и вырубка проводится много раз на протяжении свыше 20 лет. Продуктивность систем возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом колеблется от 15 до 22 тонн сухой массы собираемой биомассы на гектар в год в экспериментальных условиях и от 10 до 15 тон сухой массы с гектара в год в обычных рабочих условиях. Потенциальные виды деревьев включают в себя гибридный тополь, гибридную иву, серебристый клен, березу и ольху.

Системы возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом, в особенности при двухрядной плотной порослевой системе, дают несколько преимуществ при

восстановлении при помощи растительности. Во–первых, быстрый рост и укоренение снижают ветровую и водяную эрозию, обеспечивая фитостабилизацию подвергшихся загрязнению участков. Во–вторых, долгосрочная, многолетняя природа возделываемых растений и минимальное вхождение на место произрастания (к примеру, 3 - 4 раза в течение первого года и 1 - 2 раза в год с 3 по 21 год) снижают воздействие на людей загрязнений и возможность передвижения загрязняющих веществ с места их нахождения. В третьих, дополнительное капельное орошение дает возможность автоматического внесения удобрений и пестицидов в оптимальные моменты времени, снова же снижая подверженность людей воздействию загрязняющих веществ. Капельное орошение также создает высокую скорость испарения, продвигая загрязняющие вещества внутрь растительных тканей и через них. Внесение удобрений может быть также оптимизировано с тем, чтобы обеспечить максимальное поглощение таких радиоактивных загрязняющих элементов, как цезий и стронций. То есть, калий и кальций могут не вноситься, а азот даваться в виде аммониевых соединений. В четвертых, повторно произрастающая поросль создает множество активных регионов роста, которые работают для загрязняющих веществ как метаболические рассеиватели. Эти факторы в комбинации приводят к максимальному использованию потенциала восстановления при помощи растительности. Более того, концентрация загрязнений (мг загрязняющего вещества на кг растительной ткани) и его содержание (мг загрязняющего вещества на единицу площади) увеличиваются путем использования генетически отобранных, клонированных возделываемых растений и умелого управления лесным хозяйством. В заключении создается экономическая продукция, т.е. источник биомассы для преобразования ее в энергию. Таким образом, системы возделываемых деревянистых растений с коротким севооборотом, используемые для фитоэкстракции, фитостабилизации или ризофильтрации могут подвергаться уборке и направляться на станцию по преобразованию биомассы для выработки электроэнергии, восстанавливая экономическую ценность загрязненной земли.

Fast-growing, short-rotation woody crop systems for phytoremediation of radionuclides

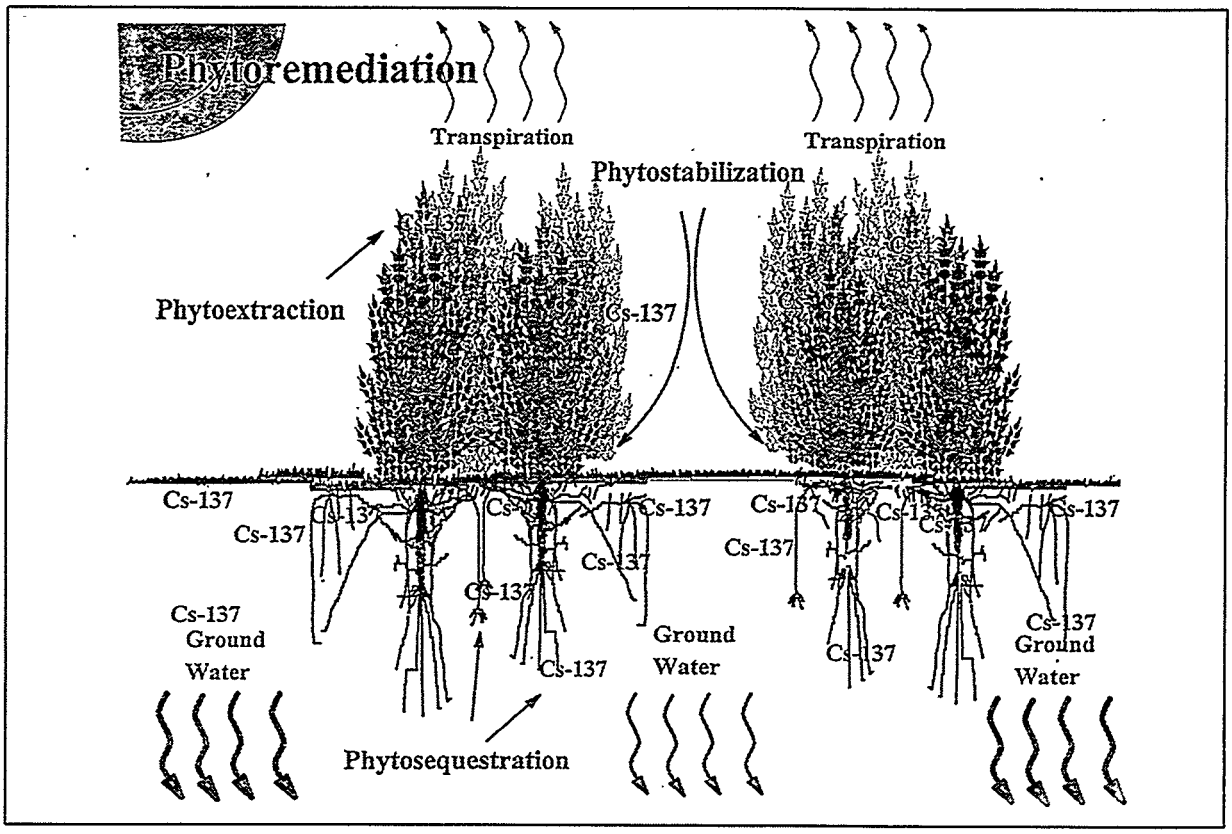
Dr. Gerald A. Tuskan
Oak Ridge National Laboratory

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Summary / Conclusions

- Maximize above and below ground growth
- Create numerous metabolic sinks (i.e. active growth points)
- Optimize the environment through fertilization and irrigation
- Create an economic product

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998



Phytoremediation = phytoextraction + phytostabilization + phytosequestration

- Phytoextraction - the concentration of contaminants into harvestable portions of plant biomass
- Phytostabilization - the use of plants to minimize off-site losses of contaminants
- Phytosequestration - the binding of contaminants to membranes or non-harvestable portions of a plant

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Short-Rotation Woody Crop Silviculture

- Twin-row High Density Spacing
  (ca. 37,000 stems per ha)
- Intensive Site Preparation
  (Pre-emergent herbicide use, direct spray post-emergent use)
- Fertilizer Use
  (Annual N - ca. 50 kg per ha, 3 years P - ca. 100 kg per ha)
- Supplemental Drip Irrigation
  (up to 90 cm annual consumptive water use)
- Mechanical Harvesting
  (Final Yield 22 MT per ha experimental, 10 operational)

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Presentation Format/Objectives

- Describe short-rotation woody crop (SRWC) silvicultural systems
- Outline various phytoremediation strategies
- Link SRWC to Phytoremediation

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Why Use SRWC for Phytoremediation?

- Rapid Establishment
  - Minimize Wind and Soil Erosion
- High Transpiration Rates
  - 35 to 90 cm of H_2O per year
- Minimum Site Entry
  - 3-4 times in the 1st year, 1-2 years 3 to 20
- Long-term Perennial Establishment
- Known Radiocontaminant Sequestration
  - up to 0.13 transfer rate
- ECONOMIC PRODUCT

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

SRWC Considerations during Phytoremediation Applications

- Silvicultural Variables
  - Spacing/Rotation Length
  - Fertilizer Levels
  - Irrigation Levels
  - Mechanical Maintenance
- Genetic Considerations
  - OVERALL GROWTH RATE
  - Cs Uptake - organic acid exudate microbial associates
  - Root Architecture
  - Root/Shoot Transference
- Species/clones
  - Hybrid willow
  - Hybrid poplar
  - Maples
  - Birch
  - Alder

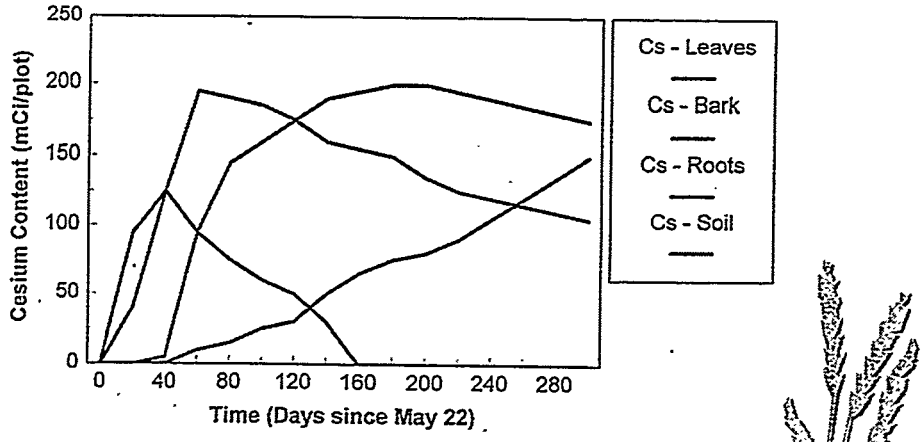
Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Variation in potassium content (umol/g DW) for several *Populus* clones grown with and without irrigation

	Leaves		Fine Roots	
Clone	Wet	Dry	Wet	Dry
93-968	276	221	197	149
111-129	242	395	64	60
53-242	190	232	90	151
53-246	197	252	276	250
49-43	317	278	—	—
49-40	311	328	—	—
49-02	281	317	—	—

Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

Comparison of observed radioactivity in mature yellow-poplar after being tagged with 467 mCi of Cesium-137



Chornobyl Phytoremediation Workshop, February 23, 1998

ENERGY CONVERSION SYSTEMS

Overview of Energy Generation Technologies from Plant Biomass

Georgiy G. Geletuha
National Academy of Sciences of Ukraine

ABSTRACT

This report summarized the technologies for producing energy from vegetation biomass and analyzed the state of their development in different countries. Their use in Ukraine for treating biomasses, both non-contaminated and contaminated with radionuclides, was also analyzed. It was concluded that the technology of direct incineration to obtain heat in 2 to 10 MWt boilers is the most promising for producing energy from radioactive biomass in Ukraine.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Сводное изложение технологий выработки энергии из растительной биомассы

Георгий Г. Гелетуха
Украинская Государственная Академия Наук

ВЫДЕРЖКИ

В докладе представлен обзор технологий получения энергии из растительной биомассы и проанализировано состояние их развития в различных странах, а также перспективы их использования в Украине для переработки как незагрязненной так и загрязненной радионуклидами биомассы. Сделан вывод о том, что наиболее перспективной для получения энергии из радиоактивной БМ в Украине представляется технология прямого сжигания с целью получения тепла в котлах мощностью 2-10 $МВт_т$.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ БИОМАССЫ

Обзор технологий получения энергии из растительной биомассы

Георгий Г. Гелетуха
Украинская Государственная Академия Наук

В докладе представлен обзор технологий получения энергии из растительной биомассы и проанализировано состояние их развития в различных странах, а также перспективы их использования в Украине для переработки как незагрязненной так и загрязненной радионуклидами биомассы.

Обзор использования БМ для получения энергии в мире и ЕС.

Под термином биомасса (БМ) обычно понимаются углеродсодержащие органические вещества растительного и животного происхождения (древесина, солома, навоз, органическую часть твердых городских отходов и т.д.). БМ является четвертым по значению топливом в мире, покрывая сегодня 1250 млн. т у.т. энергии и составляя около 15% первичных энергоносителей в мире (в развивающихся странах до 38%) [1]. БМ играет существенную роль и в промышленно развитых странах в среднем 2.8% общего энергопотребления (ОЭП): в США ее доля составляет 4% [1], в Дании - 6% [2], в Канаде - 7% [3], в Австрии - 13% [4], в Швеции - 16% [5], в Финляндии - 20% (максимальная доля для развитых стран) [6]. Преимущества БМ как топлива: полное отсутствие или незначительное количество выбросов соединений серы и сохранение равновесия углекислого газа CO_2 в атмосфере. Наиболее широко используемой в настоящее время является растительная БМ. Наиболее широко используемыми коммерчески являются термохимические технологии получения энергии из БМ: прямое сжигание, газификация, пиролиз. В соответствии с прогнозом мирового энергетического совета доля БМ составит 42-46% от общей доли нетрадиционных возобновляемых источников энергии в 2020 г., существенно превышая вклад солнечной, ветровой, геотермальной и др. НВИЭ [7].

Данные о количестве БМ в Украине

В табл.1 приведены данные автора о количестве различных видов БМ в Украине в 1995 г. Технически доступный энергетический потенциал БМ в Украине в 1995 г. составлял около 332 ПДж или 11.3 млн. т у.т., что соответствует около 5 % общего энергопотребления в Украине (без учета городского мусора и без уменьшения потребления отходов БМ другими секторами экономики). Основным источником БМ в Украине являются отходы сельскохозяйственного производства, в первую очередь, солома злаковых культур и навоз. Динамика изменения по годам количества БМ, доступной для получения энергии в Украине приведена на рисунке 1. Она отражает общий спад сельскохозяйственного и промышленного производства в Украине за последние годы.

Технологии пиролиза БМ

Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических соединений без доступа кислорода. Наибольшей перспективой для получения энергии обладают технологии пиролиза БМ, направленные на получение высокого выхода жидкого пиротоплива, которое легче и дешевле транспортировать чем саму БМ. Калорийность

такого топлива ~ 23 МДж/кг. Максимальный выход жидкого пиротоплива достигает 80% от массы сухого сырья. Такой пиролиз известен как быстрый или огневой.

Наилучшие с коммерческой точки зрения результаты достигнуты на установках с циркулирующим кипящим слоем, а также на установках с двумя реакторами кипящего слоя.

Табл.1. Общее количество отходов биомассы в Украине в 1995 г.

Вид биомассы	Валовой сбор, млн. т	Коэф. отходов	Коэф. доступности	Количество отходов, млн. т	$Q^p_н$, МДж/кг	Количество БМ доступное для получения энергии		Энергетический потенциал БМ доступной для энергетики	
						%	млн. т	ПДж	млн. т у.т.
Злаковые культуры (W14%)	28.498	1.654	0.85	40.31	15.7	20	8.06	126.6	4.31
Кукуруза на зерно (W14%)	3.392	1.2	0.7	2.85	13.7	50	1.42	19.52	0.67
Сахарная свекла (W14%)	29.650	0.4	0.4	4.744	13.7	50	2.37	32.50	1.11
Подсолнечник (W14%)	2.860	3.7	0.7	7.41	13.7	50	3.70	50.74	1.73
Древесина (W14%)	5.942	0.55	0.9	2.941	15.0	40	1.18	17.65	0.60
Навоз (сухое вещ.)	9.160	-	0.62	5.679	15.0	100	5.679	85.19	2.90
Итого				63.93			22.4	332.2	11.3

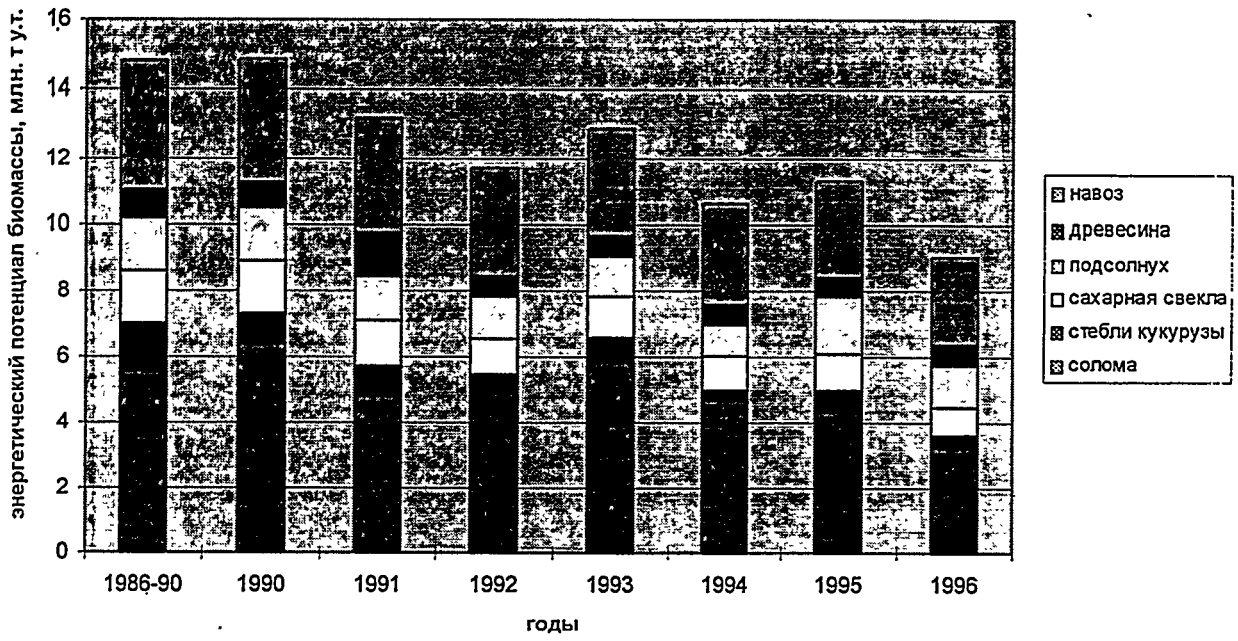


Рис.1. Динамика изменения по годам количества биомассы, доступной для получения энергии в Украине

Максимально достигнутая производительность пиролизной установки для производства жидкого топлива - 2.5 т сырья/час (технология компании ENSYN, Канада). На сегодняшний день имеется определенный опыт использования пиротоплив в котлах, дизельных и газотурбинных двигателях.

В целом можно сделать вывод что технология быстрого пиролиза БМ находится на исследовательской стадии развития.

Технологии газификации БМ

Газификация представляет собой высокотемпературный процесс, при котором твердое топливо вступает в реакцию с ограниченным количеством воздуха или кислорода и превращается, в основном, в горючий газ. Воздух является самым простым и наиболее широко используемым окислителем. Теплота сгорания генераторного газа при воздушном дутье составляет 4-6 МДж/нм^3. Очищенный низкокалорийный газ используется в двигателях внутреннего сгорания, газотурбинных двигателях и в котлах.

Большинство действующих коммерческих газификаторов расположено в Финляндии. В основном это газификаторы двух типов: Bioneer (9 шт.) и Pyroflow (4 шт.) введенные в эксплуатацию в первой половине 80-х годов. Из-за падения цен на нефть в середине 80-х годов, с 1986 г. ни один новый газификатор Bioneer или Pyroflow не был введен в эксплуатацию. Наиболее крупная газификационная установка для получения тепла (100 МВт$_{тепл}$) создана в Германии по схеме газификации в циркулирующем кипящем слое. Наиболее крупная газификационная установка для выработки электроэнергии (60 МВт$_э$) создана в Финляндии по схеме "газификация в кипящем слое + газотурбинная установка".

Из анализа данных работ [8,9,10] видно, что:

- большинство производителей оборудования газификации БМ относится к скандинавским странам. В Европе существует шесть производителей крупных газификаторов с (циркулирующим) кипящим слоем: Rheinbraun, Gotaverken (Швеция), Foster Wheeler (Финляндия), Lurgi (Германия), Tampella (Финляндия), TPS (Швеция). Технология четырех последних из них используется или будет использоваться в парогазотурбинных установках с внутрицикловой газификацией БМ (ПГТУ ВГ);
- имеется достаточно много производителей газификационных систем небольшой мощности (в основном состоящих из газификатора НДГ и двигателя внутреннего сгорания). Как правило это мелкие компании.

В целом по технологиям газификации БМ можно сделать вывод о том, что они находятся на демонстрационной стадии развития и еще не достигли коммерческого уровня. Эти технологии пока не вносят большого вклада в европейскую энергетику. Однако, их перспективность постоянно возрастает особенно с целью получения электроэнергии в парогазотурбинных установках с внутрицикловой газификацией БМ.

Технологии прямого сжигания БМ

В таблице 2 приведены данные о количестве котлов использующих древесину в различных странах.

Таблица 2. Количество котлов использующих древесину в различных странах

Страна	Количество котлов, шт		Суммарная установленная мощность	
	< 1 $МВт_т$	> 1 $МВт_т$	$МВт_э$	$МВт_т$
Швеция		428		5463
Финляндия		н.д.		2807 *)
Дания		100		586 *)
Австрия		266		370
Италия	100		100	2500
США		500	8500	
Германия		> 200		н.д.
Латвия		260		250
Эстония	770			902
Чехия	100			н.д.

*) Реально полученная в 1994 году энергия из древесины

В таблице приведены данные только о достаточно крупных котлах (> 1 МВт). В то же время во многих странах имеются десятки тысяч мелких отопительных печей и котлов сжигающих древесину, кроме того в ЕС насчитывается около 100 станций мощностью 1-10 МВт, сжигающих солому (в основном в Дании). Как видно, количество котлов сжигающих древесину исчисляется сотнями во многих странах мира. Самым большим в мире котлом с кипящим слоем, использующим в качестве сырья для прямого сжигания БМ является на сегодняшний день котел мощностью 295 $МВт_т$., установленный в 1993 г. компанией Tampella Power на станции Rauhalahti в Финляндии.
На сегодняшний день технология сжигания БМ является основной достигшей коммерческого уровня технологией для получения тепла и электроэнергии из биомассы.

Стоимость получения жидких топлив из БМ

В работе [11] приведены данные по стоимости получения жидких топлив из БМ с помощью различных технологий. Себестоимость жидких топлив, полученных пиролизом, ниже, чем для других схем превращения БМ в топливо. Так, при стоимости сырья 30 фунт. стерл./т себестоимость газолина, полученного из БМ путем пиролиза, составляет 8.6 - 8.8 фунт. стерл./ГДж в зависимости от технологии повышения качества, что, однако, в 1.5 раза превышает его рыночную стоимость в Англии. Стоимость этанола полученного из БМ путем ферментации значительно превышает стоимость жидкого пиротоплива полученного путем быстрого пиролиза и составляет 14.4 - 25.2 фунт. стерл./ГДж.

По оценкам международного энергетического агентства (IEA) пиротопливо, полученное путем быстрого пиролиза, является самым дешевым жидким продуктом, который можно получить из БМ.

Стоимость получения электроэнергии из БМ

В работе [10] представлены технико-экономические показатели установок газификации и сжигания БМ для получения электроэнергии: 1 - сжигание БМ в котле с выработкой электроэнергии в паровой турбине, 2 - атмосферная газификация с выработкой электроэнергии в газовой турбине или двигателе внутреннего сгорания, 3 - парогазотурбинные установки с внутрицикловой газификацией БМ. Себестоимость электроэнергии получена минимальна для систем "газификация + двигатель внутреннего сгорания" при мощности установок <10 $МВт_э$ и для парогазотурбинной установки с внутрицикловой газификацией БМ при мощности установки >10 $МВт_э$ являясь рентабельной, для большинства европейских стран, в установках мощностью более 50 $кВт_э$.

В таблице 3 собраны данные, которые иллюстрируют технико-экономические показатели газификационных установок различного типа, вырабатывающих электроэнергию. Как видно, полученная электроэнергия является неконкурентоспособной на рынках большинства европейских стран.

Стоимость получения тепла из БМ

В таблице 4 приведено сравнение экономических показателей установок трех типов, предназначенных для теплоснабжения одного из городов Германии с населением 2400 жителей [12]:

- газификационная установка комбинированной выработки тепла и электроэнергии (КТЭ), использующая в качестве сырья БМ;
- тепловая станция с прямым сжиганием БМ;
- традиционная станция комбинированной выработки тепла и электроэнергии, на которой сжигается природный газ.

Также приведены экономические показатели более крупной газификационной установки Bioneer, работающей на БМ и вырабатывающей в паре с котлом тепло.

Рентабельными являются тепло, полученное при сжигании БМ в котле (26.8 экю/$МВт \cdot ч_т$) и в крупной газификационной установке Bioneer, работающей в паре с котлом (20

экю/МВт·ч$_т$). При существующей сегодня стоимости тепла для потребителей в Украине 25...40 экю/МВт·ч$_т$ можно прогнозировать достаточно высокую рентабельность в Украине технологий сжигания БМ с целью выработки тепла.

Таблица 3. Технико-экономические показатели газификационных установок для выработки электроэнергии из БМ

оказатели	Г + ДВС	Г+ ГТУ	Tina ПГТУ	Biocycle ПГТУ	Г + ДУ	Г + ДУ
Мощность электрическая, МВт$_э$	0.1	1.83	2.0	7.2	4	12
Мощность тепловая, МВт$_т$	-	4.16	4.7	6.78	-	-
Капитальные затраты, экю/кВт$_э$	1100	2251	5150	4726	3280	2512
Капитальные затраты, экю/кВт$_т$	н.д.	990	2191	5018	-	-
Общие капитальные затраты, млн. экю	0.11	4.12	10.3	34.03	1.31	30.16
Эксплуатационные расходы, млн.экю/год	0.062	0.16	1.3	3.43	3.36	8.48
Стоимость сырья, экю/т	н.д.	24	160	86	24	24
КПД выработки эл. энергии, %	18	н.д.	22.6	39.9	38.4	38.4
КПД выработки тепла, %	-	н.д.	44.2	37.4	-	-
Себестоимость тепла, экю/МВт·ч$_т$	-	23.8	41.5	23.8	-	-
Себестоимость электроэнергии, экю/МВт·ч$_э$	124.1	84	86.5	68.8	106.7	89.6

Г - газификатор, н.д. - нет данных

Таблица 4. Технико-экономические показатели установок для выработки тепла из БМ

оказатели	ТС с прямым сжиганием БМ	Газификацион-ная установка		Традицион. установка
		Bioneer	КТЭ	КТЭ
Мощность электрическая, МВт$_э$	0	0	0.47	0.765
Мощность тепловая, МВт$_т$	1.6	6	1	1.2
Капитальные затраты, экю/кВт$_э$	-	-	3385	1640
Капитальные затраты, экю/кВт$_т$	295	350	1590	1041
Общие капитальные затраты, млн. экю	0.47	2.1	1.59	1.25
Эксплуатационные расходы, млн.экю/год	0.014	0.816	0.159	0.063
Вид сырья	Д	Д / Т	Д	ПГ
Стоимость сырья, экю/т	65.50	н.д.	65.50	0.153 экю/м^3
КПД выработки электроэнергии, %	-	-	25	35
КПД выработки тепла, %	112	н.д.	53	55
Себестоимость тепла, экю/МВт·ч$_т$	26.8	20	50.6	31.5

ТС - тепловая станция, Д - древесина, Т - торф, ПГ - природный газ, н.д. - нет данных

Оценка себестоимости получения жидких топлив из БМ путем пиролиза в Украине

При оценке себестоимости получения жидких топлив путем пиролиза БМ в Украине использованы данные [13] и принято, что в Украине капитальные затраты составят 50%, эксплуатационные затраты - 30%, а оплата труда - 20% от соответствующих затрат в Англии. Стоимость пиротоплива по прогнозу в Украине составит 2.7...7.3 грн/ГДж в зависимости от производительности установки и стоимости сырья. При рыночной стоимости мазута М40, равной 4.86 грн/ГДж, жидкое топливо, полученное путем пиролиза БМ, может стать конкурентоспособным при производительности установки более 5 т/ч.

Оценка себестоимости децентрализованной выработки электроэнергии из БМ путем пиролиза и газификации в Украине

При оценке себестоимости электроэнергии из БМ в Украине в децентрализованных пиролизных и газификационных установках (300 и 100 кВт$_э$ соответственно) использованы данные [14] и получены себестоимости 9.7...12.6 коп./кВт·ч. При рыночной стоимости электроэнергии в Украине для частных потребителей 9 коп./кВт·ч, электроэнергия, полученная из БМ путем пиролиза и газификации в децентрализованных установках, является неконкурентоспособной.

Выводы

1. Термохимические технологии получения энергии из БМ достаточно быстро развиваются в ряде западных стран.
2. Быстрый пиролиз БМ находится на исследовательской, газификация - на демонстрационной, а технология сжигания - на коммерческой стадии развития.
3. Только технологии прямого сжигания БМ с целью получения тепла и комбинированной выработки тепла и электроэнергии достигли рентабельности в настоящее время.
4. Только достаточно крупные газификационные установки (типа Bioneer) близки к конкурентоспособности при выработке тепла.
5. Украина обладает значительным потенциалом отходов биомассы доступных для получения энергии - около 11 млн. т у.т. в 1995 г. (около 5% общего потребления первичных энергоносителей).
6. Основным источником БМ в Украине являются отходы сельскохозяйственного производства, в первую очередь, солома злаковых культур и навоз.
7. Можно ожидать приоритетное развитие в Украине технологий прямого сжигания БМ для получения тепла.
8. Развитие технологий получения электроэнергии из БМ в Украине возможно только при наличии субсидий и льгот производителям такой электроэнергии.
9. Наиболее перспективными для коммерческого использования нерадиоактивной биомассы в Украине являются:
   - котлы и газификационные установки по переработке древесных отходов для выработки тепла (0.5-5 МВт$_{тепл}$);

- соломосжигающие установки фермерского типа (0.1-1 $МВт_{тепл}$) и станции (1-10 $МВт_{тепл}$) для выработки тепла, а также станции комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (1-10 $МВт_э$);
- биогазовые установки, установленные на крупных фермах.

10. Наиболее перспективной для получения энергии из радиоактивной БМ в Украине представляется технология прямого сжигания с целью получения тепла в котлах мощностью 2-10 $МВт_т$.

Литература

1. Hall D.O., House J. Biomass as a Modern Fuel // Environmental Impacts of Bioenergy. IEA Bioenergy Agreement Seminar, September 1993, Snekkersten, Denmark, pp.81-114.
2. Biomass for Energy - Danish Solutions. Danish Energy Agency, 1996, 38 p.
3. Новикова Ю.Н. Использование биомассы в производстве энергии в капиталистических странах // Бюллетень иностранной коммерческой информации. 1990, N26, с.6, 7.
4. Energy from Biomass. R & D in Austria. Vienna, Austria 1994, 23 p.
5. Ånergy in Sweden. NUTEK (Swedish National Board for Industrial and Technical Development), 1995, 32 p.
6. Asplund D. Research Director's Review // Bioenergia, N2, 1996, pp.3, 4.
7. Вольфберг Д.Б. Основные тенденции в развитии энергетики мира // Теплоэнергетика, N 9, 1995, стр.5-12.
8. Dinkelbach L., Kaltschmitt M. Gasification of Biomass in Europe - State-of the Art and Prospects. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24-27 June, 1996. Pergamon. Vol.2, pp.1382-1387.
9. Beenackers A.A.C.M., Maniatis K. Gasification Technologies for Heat and Power from Biomass. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24-27 June, 1996. Pergamon. Vol.1, pp.228-259.
10. Bridgwater A.V. The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation // Fuel. - 1995, vol.74, N 5, pp.631-653.
11. Bridgwater A.V., Double J.M. Production Ñosts of Liquid from Biomass // Int. Journal of Energy Research, vol.18, 1994, pp.79-95.
12. Hansen U., Adam J., Wickboldt P. Heat and Power from Small Scale Biomass Plants in Rural Regions. A Typical Application Case Study in Mecklenburg-Vorpommern, Germany. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24-27 June, 1996. Pergamon. Vol.2, pp.1318-1323.
13. Toft A.J., Bridgwater A.V. Market Opportunities for Fast Pyrolysis in Electricity Generation // 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24-27 June, 1996, vol.3, pp.1997-2002.
14. Hollingdale A.C., Breag G.R., Reupke P., Tariq A.S. Decentralised Electricity Production from Biomass // 8th EC Conference, Vienua, Austria, 3-5 October, 1994, vol.2, pp.1037-1041.

Международная рабочая встреча "Фиторемедиация Чернобыльской зоны и получение энергии из радиоактивно загрязненной биомассы"
г. Славутич, 23 - 25 февраля 1997 г.

Г.Г.Гелетуха
к.т.н., ст.н.с., Институт технической теплофизики НАН Украины /
директор, Научно-технический центр "Биомасса"

Обзор технологий получения энергии из растительной биомассы

252057, Киев-57, ул.Желябова-2а, ИТТФ НАНУ;
тел: 380 44 441 7356; тел/факс: 380 44 446-93-02; 446-60-91
e-mail: ggg@ittfnan.kiev.ua

Рис.1 Доля БМ в общем энергопотреблении развитых стран

Табл.1 Оценка возможной доли "новых" нетрадиционных ВИЭ в мире в 2020 г. (прогноз МИРЭС)

Ресурсы НВИЭ	2020 г. минимальная оценка		2020 г. максимальная оценка	
	млн.т.у.т.	% к итогу	млн.т.у.т.	% к итогу
"Современная биомасса"	**350**	**46**	**800**	**42**
Солнечная энергия	150	19	510	26
Ветровая энергия	120	15	310	16
Геотермальная энергия	60	8	130	7
МикроГЭС	70	9	100	5
Океаническая энергия	20	3	80	4
Итого	770	100	1960	100
% ОЭП мира	-	3-4	-	8-12

Табл.2 Общее количество отходов растительной и животной БМ в Украине в 1995 году

Вид биомассы	Валовой сбор, млн. т	Коэф. отходов	Коэф. доступности	Количество отходов, млн. т	$Q^p_н$, МДж/кг	Количество БМ доступное для получения энергии		Энергетический потенциал БМ доступной для энергетики	
						%	млн. т	ПДж	млн. т у.т.
Злаковые культуры (W14%)	28.498	1.654	0.85	40.31	15.7	20	8.06	126.6	4.31
Кукуруза на зерно (W14%)	3.392	1.2	0.7	2.85	13.7	50	1.42	19.52	0.67
Сахарная свекла (W14%)	29.650	0.4	0.4	4.744	13.7	50	2.37	32.50	1.11
Подсолнечник (W14%)	2.860	3.7	0.7	7.41	13.7	50	3.70	50.74	1.73
Древесина (W14%)	5.942	0.55	0.9	2.941	15.0	40	1.18	17.65	0.60
Навоз (сухое вещ.)	9.160	-	0.62	5.679	15.0	100	5.679	85.19	2.90
Итого				63.93			22.4	332.2	11.3

Рис.2 Динамика изменения по годам количества биомассы, доступной для получения энергии в Украине.

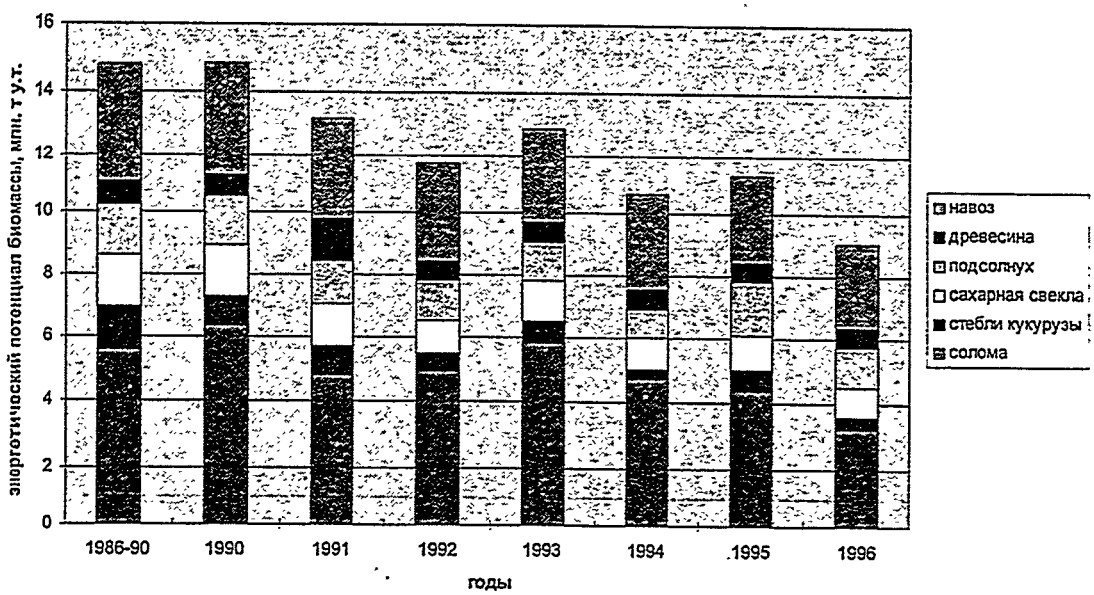


Табл.3 Современное состояние технологий быстрого пиролиза

Организация, страна	Технология	Производительность, кг/ч
GRES, Греция	Циркулирующий КС	10
ENEL-Ensyn, Италия	Два реактора с КС	650
Schelde-BTG-Twente, Нидерланды	Абляционный конусный	50
Union Fenosa-WFPP, Испания	КС	160
Астонский университет, Великобритания	Абляционый пиролизер КС	5 2
VTT, Финляндия	Два реактора с КС КС	20 1
NREL, США	Абляционный вихревой	60
Red Arrow-Ensyn, США	Два реактора с КС	1000
Red Arrow-Ensyn, США	Два реактора с КС	**2500**
Ensyn, Канада	Два реактора с КС	100
Университет г.Ватерлоо (WFPP), Канада	КС	3
Организации, занимающиеся испытанием двигателей	Вид двигателя	Мощность, $МВт_э$
Wartsila Diesel, Финляндия	Пилотный дизельный двигатель	1.5
Orenda, Канада	Газотурбинный двигатель	2
Ormrod Diesel, Великобритания	Дизельный двигатель	0.3

КС - кипящий слой

Табл.4 Коммерческие установки газификации БМ для выработки тепла

Газификатор	Расположение	Сырье	Мощность
Газификаторы с неподвижным слоем и восходящим движением газа			
Bioneer (Финляндия)	10 установок (Финляндия, Швеция)	Древесина/торф	5-6 $МВт_т$
Volund (Дания)	2 установки (Дания)	Древесина/торф	4 $МВт_т$ +1.2 $МВт_э$
Daneco (Италия)	Villasantina, Isola d'Ebla	ТГО *) ТГО	3 $МВт_т$ +0.6 $МВт_э$ 6 $МВт_т$
Газификаторы с неподвижным слоем и нисходящим движением газа			
Chevet (Франция)	Много установок (Развивающиеся страны)	Стебли хлопка	315 $кВт_т$
Wamsler (Германия)	3 уст-ки (Германия)	Древесина	600-1500 $кВт_т$
HTV-Juch (Швейцария)	не коммерческая	Древесина	450-700 $кВт_т$
Schelde (Нидерланды)	Vlissingen	Отстой сточных вод	1 $МВт_т$
GASBI (Испания)	нет данных	Древесина	150-1500 $кВт_т$
MHB (Германия)	нет данных	Древесина	3.3 $МВт_т$
NIHPBS (Ирландия)	Enniskillen (Ирландия)	Древесина	100 $кВт_э$ + 200 $кВт_т$
Baumann AG (Швейцария)	Hundsrueck (Швейцария)	нет данных	100 $кВт_т$
Газификаторы с ЦКС			
Ahlstrom	4 уст-ки (Швеция, Финл., Португалия)	Древесные отходы	15-35 $МВт_т$
Lurgi	Pols (Австрия) Rudersdorf (Германия)	Кора Древесные отходы	35 $МВт_т$ **100 $МВт_т$**
Kvaerner	Varo (Швеция)	Древесные отходы	35 $МВт_т$

*) ТГО - горючая часть твердых городских отходов.

Таблица 5 Газификационные установки для выработки электроэнергии из БМ

Организация / газификатор	Расположение	Техно-логия	Двига-тель	Мощность,	
				$МВт_э$	$МВт_т$
Газификационные системы большой мощности (> 0.5 $МВт_э$)					
Electrobras / TPS	State Bahia, Бразилия	ЦКС	ПГТУ	31.9	н.д.
Prov.Noord-Holland / TPS	н.д. *)	ЦКС	н.д.	30	н.д.
GEF	н.д. ***)	н.д.	ПГТУ	27	н.д.
Pnem/Epz/Nuon/Bfi	Geerruidenberg, Нид. *)	ЦКС	н.д.	20	н.д.
ENEL / Lurgi	Di Cascina, Италия	ЦКС	ПГТУ	12	-
Yorkshire Water / TPS	Aire Valley, Великобр.	ЦКС	ПГТУ	8	-
Aerimpianti/TPS (Studsvik)	Greve, Италия	ЦКС	ПТУ	6.7	н.д.
Ahlstrom / Ahlstrom	Варнамо, Швеция **)	ЦКС п.д.	ПГТУ	6	9
ENEL / Studsvik	н.д. *)	ЦКС	ГТУ	5	н.д.
Vattenfall / Tampella	н.д. **)	КС п. д.	ГТУ	**60**	**60**
North Powder / JWP (EPI)	н.д.	КС	ПТУ	9	н.д.
Elsam / Tampella	н.д. *)	КС п. д.	ПГТУ	7.2	н.д.
PICHTR / IGT	Гавайи, США	КС п. д.	н.д.	5	н.д.
MTCI / MTCI (США)	н.д. *)	КС	ГТУ	4	н.д.
Free University of Brussels / DINAMEC.	Брюссель, Бельгия	КС	ГТУ	0.2-0.7	0.5-1.2
VUB / VUB (Бельгия)	н.д. *)	КС	ГТУ	0.6	н.д.
Battele M. L. / Battelle Columbus (США)	Burlington, США	КС	ГТУ	0.5	н.д.
Border Biofuels / Wellman	н.д. *)	ВДГ	ДВС	5	н.д.
Easymod	Laage, Германия **)	ВДГ	н.д.	5	н.д.
Volund / Volund	Graz, Австрия **)	ВДГ	ГТУ	2.0	4.7
Volund (Дания)	2 установки, Дания	ВДГ	ДВС	1.2	4
Daneco / Foster Wheeler	Villasantina, Италия	ВДГ	ГДУ	0.6	3
BTG u.a. (Нидерланды)	н.д. **)	ВДГ, НДГ	н.д.	0.5-2	н.д.
General Electric, GE *)	н.д.	ВДГ	н.д.	н.д.	н.д.

ЦКС - циркулирующий кипящий слой, КС - кипящий слой, ВДГ - восходящее движение газа, НДГ - нисходящее движение газа, п. д. - под давлением, н.д. - нет данных; *) - проектируется, **) - вводится в действие, ***) - стадия анализа, ****) - не действует

Таблица 6. Количество котлов использующих древесину в различных странах

Страна	Количество котлов, шт		Суммарная установленная мощность котлов,	
	< 1 $МВт_т$	> 1 $МВт_т$	$МВт_э$	$МВт_т$
Швеция		428		5463
Финляндия		н.д.		2807 *)
Дания		100		586 *)
Австрия		266		370
Италия	100		100	2500
США		500	8500	
Германия		> 200		н.д.
Латвия		260		250
Эстония	770			902
Чехия	100			н.д.

*) Реально полученная в 1994 году энергия из древесины

Таблица 7. Технические и экономические показатели тепловых станций сжигающих древесину в Австрии

Показатели	Мощность, $МВт_т$		
	< 1	≥ 1	В среднем
Количество станций	141	125	
Общая номинальная мощность, $МВт_т$	62	311	
Рост номинальной мощности, %/год	17 ± 2	19 ± 10	19 ± 8
Расход сырья, т сухого сырья/($МВт_т$·г)	380 ± 140	460 ± 200	430 ± 180
Период работы при полной нагрузке, ч/г	1460 ± 540	1700 ±710	1630 ± 660
КПД, %	81	84	83
Потери тепла в трубопроводах, % (в среднем за год)			28
Протяженность тепловой сети, м			25 - 21800
Капитальные затраты, тыс. экю/$МВт_т$	760 ± 400	890 ± 400	820 ± 400

Примечание. Показатель возрастания номинальной мощности берется как среднегодовое значение за последние 5 лет.

Таблица 8. Тепловые станции сжигающие древесину, оборудованные котлом Pyroflow Compact компании Foster Wheeler

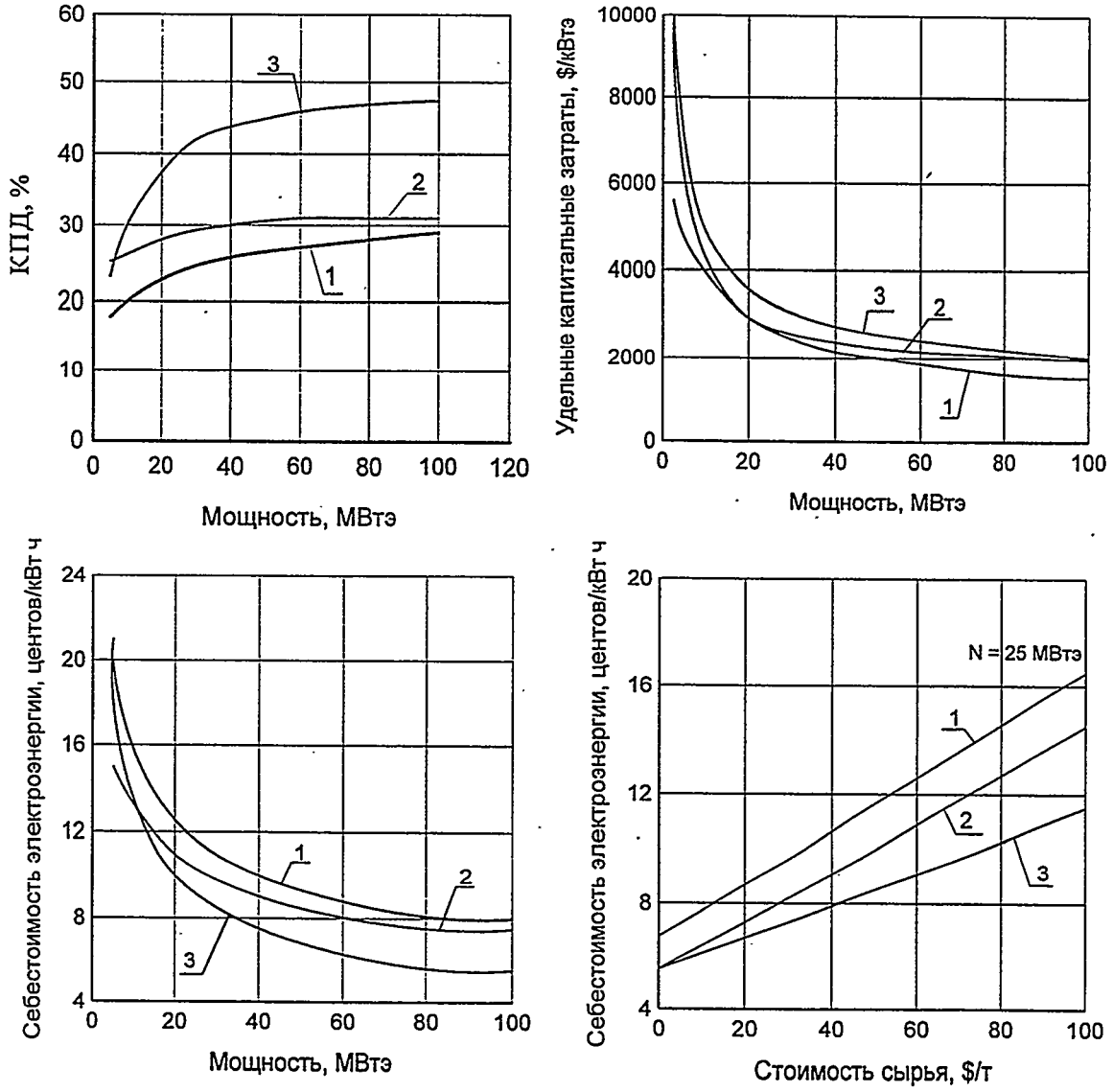
Расположение	Ввод в действие	Мощность, $МВт_т$	Давление пара, бар	Температура пара, °С	Сырье
Kuhmo, Финл.	1992	18	81	490	древесина
Kokkola, Финл.	1994	98	60	510	торф, уголь
Rovaniemi, Финл.	1995	96	115	535	торф, древесина, уголь
Lomma, Швеция	1996	16	61	510	бумажн. и древесн. отх.
Brista Kraft, Швец.	1996	122	144	540	древесные отходы, уголь
Vaxsjo, Швеция	1996	100	142	540	торф, древесные отходы
Skelleftea, Швеция	1996	92	141	540	древесные отходы, торф

Табл. 9. Себестоимость жидких топлив, полученных из БМ в Англии (мощность установок 1000 т сухого сырья/день, стоимость сухого сырья 30 фунт.стерл./т)

Жидкое топливо	Вид БМ	Технология получения	Стоимость, Ł/ГДж
Природный газ			3.0
Дизельное топливо			4.1
Метанол			5.6
Газолин			5.8
Метанол	солома	газификация	**7.0**
Газолин	древесина	пиролиз+цеолитовая технология	**8.6**
Дизельное топливо	древесина	газификация +SMDS	**8.8**
Газолин	древесина	пиролиз+гидрогенизация	**8.8**
Метанол	древесина	газификация	9.1
Газолин	древесина	сжижение+гидрогенизация	9.4
Метанол	ТГО	газификация	9.9
Алкогольное топливо	древесина	газификация	9.8
Этанол			12.0
Газолин	древесина	газификация + MTG	12.4
Этанол	древесина	H_2SO_4 гидролиз + ферментация	**14.4**
Газолин	древесина	газификация + MOGD	14.6
Дизельное топливо	древесина	газификация + MOGD	14.6
Этанол	пшеница	ферментация	**14.9**
Этанол	древесина	ферментный гидролиз + ферментация	19.6
Этанол	свекла	ферментация	25.2

ТГО - твердые городские отходы

Рис.3 Технико-экономические показатели установок газификации и сжигания БМ для получения электроэнергии



1 - горение + ПТУ; 2 - газификация + ДВС; 3 - ПГУ с внутрицикловой газификацией

Примечание: стоимость сырья 50 $/т

Таблица 10. Технико-экономические показатели газификационных установок для выработки электроэнергии из БМ

Показатели	Г + ДВС	Г+ ГТУ	Tina ПГТУ	Biocycle ПГТУ	Г + ДУ	Г + ДУ
Мощность электрическая, $МВт_э$	0.1	1.83	2.0	7.2	4	12
Мощность тепловая, $МВт_т$	-	4.16	4.7	6.78	-	-
Капитальные затраты, экю/$кВт_э$	1100	2251	5150	4726	3280	2512
Капитальные затраты, экю/$кВт_т$	н.д.	990	2191	5018	-	-
Общие капитальные затраты, млн. экю	0.11	4.12	10.3	34.03	1.31	30.16
Эксплуатационные расходы, млн.экю/год	0.062	0.16	1.3	3.43	3.36	8.48
Стоимость сырья, экю/т	н.д.	24	160	86	24	24
КПД выработки эл. энергии, %	18	н.д.	22.6	39.9	38.4	38.4
КПД выработки тепла, %	-	н.д.	44.2	37.4	-	-
Себестоимость тепла, экю/$МВт \cdot ч_т$	-	23.8	41.5	23.8	-	-
Себестоимость электроэнергии, экю/$МВт \cdot ч_э$	**124.1**	**84**	**86.5**	**68.8**	**106.7**	**89.6**

Г - газификатор, н.д. - нет данных

Таблица 11. Технико-экономические показатели установок для выработки тепла из БМ

Показатели	ТС с прямым сжиганием БМ	Газификационная установка		Традицион. установка КТЭ
		Bioneer	КТЭ	
Мощность электрическая, $МВт_э$	0	0	0.47	0.765
Мощность тепловая, $МВт_т$	1.6	6	1	1.2
Капитальные затраты, экю/$кВт_э$	-	-	3385	1640
Капитальные затраты, экю/$кВт_т$	295	350	1590	1041
Общие капитальные затраты, млн. экю	0.47	2.1	1.59	1.25
Эксплуатационные расходы, млн.экю/год	0.014	0.816	0.159	0.063
Вид сырья	Д	Д / Т	Д	ПГ
Стоимость сырья, экю/т	65.50	н.д.	65.50	0.153 экю/$м^3$
КПД выработки электроэнергии, %	-	-	25	35
КПД выработки тепла, %	112	н.д.	53	55
Себестоимость тепла, экю/$МВт \cdot ч_т$	**26.8**	**20**	**50.6**	**31.5**

ТС - тепловая станция, Д - древесина, Т - торф, ПГ - природный газ, н.д. - нет данных

Стоимость тепла для потребителей в Украине - **25,..40** экю/$МВт \cdot ч_т$

Табл.12 Оценка себестоимости жидкого топлива, полученного из БМ путем пиролиза в Украине

Параметры	Себестоимость в Англии		Себестоимость в Украине		Себестоимость в Украине	
Производительность установки, т сырья/час	1	10	1	10	1	10
Стоимость сырья, грн/т	0	0	0	0	18	18
Затраты на сырье, грн/ГДж	0	0	0	0	1.64	1.64
Капитальные затраты, грн/ГДж	6.34	2.63	3.17	1.32	3.17	1.32
Эксплуатационные затраты, грн/ГДж	13.74	4.67	4.12	1.4	4.12	1.4
Себестоимость пиротоплива, грн/ГДж	**20.07**	**7.3**	**7.29**	**2.72**	**8.93**	**4.36**

Примечания. 1. Влажность сырья - 40%;

2. Стоимость котельного топлива М40 в Украине - **4.86** грн/ГДж.

Табл.13 Оценка затрат на получение электроэнергии из БМ в Украине с помощью децентрализованных систем "пиролизер + ДВС" и "газификатор + ДВС"

Параметры	Себестоимость э/э в Англии		Себестоимость в Украине без учета стоимости сырья		Себестоимость в Украине с учетом стоимости сырья	
	П+ДВС	Г+ДВС	П+ДВС	Г+ДВС	П+ДВС	Г+ДВС
Стоимость БМ, грн/т	-	-	-	-	18	18
Мощность, $кВт_э$	300	100	300	100	300	100
Период работы, час/год	8000	5000	8000	5000	8000	5000
КПД, %	28	18	28	18	28	18
Капитальные затраты, тыс.грн	2800	224	1400	112	1400	112
Затраты на монтаж, тыс. грн	140	56	42	28	42	28
Период эксплуатации, лет	15	10	15	10	15	10
Затраты на тех. обслуживание, тыс. грн/год	84	11.2	25	5.6	2 5	5.6
Оплата труда, тыс. грн/год	70	36.4	14	7.3	14	7.3
Прибыль, %/год	10	10	10	10	10	10
Стоимость электроэнергии, коп/кВт·ч	**25**	**25**	**10.6**	**9.7**	**12.6**	**11.7**

ДВС - двигатель внутреннего сгорания, П - пиролизер, Г - газификатор

Выводы

1. Термохимические технологии получения энергии из БМ достаточно быстро развиваются в ряде западных стран.
2. Быстрый пиролиз БМ находится на исследовательской, газификация - на демонстрационной, а технология сжигания - на коммерческой стадии развития.
3. Только технологии прямого сжигания БМ с целью получения тепла и комбинированной выработки тепла и электроэнергии достигли рентабельности в настоящее время.
4. Только достаточно крупные газификационные установки (типа Bioneer) близки к конкурентоспособности при выработке тепла.
5. Украина обладает значительным потенциалом отходов биомассы доступных для получения энергии - около 11 млн. т у.т. в 1995 г. (около 5% общего потребления первичных энергоносителей).
6. Основным источником БМ в Украине являются отходы сельскохозяйственного производства, в первую очередь, солома злаковых культур и навоз.
7. Можно ожидать приоритетное развитие в Украине технологий прямого сжигания БМ для получения тепла.
8. Развитие технологий получения электроэнергии из БМ в Украине возможно только при наличии субсидий и льгот производителям такой электроэнергии.
9. Наиболее перспективными для коммерческого использования нерадиоактивной биомассы в Украине являются:
   - котлы и газификационные установки по переработке древесных отходов для выработки тепла (0.5-5 $МВт_{тепл}$);
   - соломосжигающие установки фермерского типа (0.1-1 $МВт_{тепл}$) и станции (1-10 $МВт_{тепл}$) для выработки тепла, а также станции комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (1-10 $МВт_э$);
   - биогазовые установки, установленные на крупных фермах.
10. Наиболее перспективной для получения энергии из радиоактивной БМ в Украине представляется технология прямого сжигания с целью получения тепла в котлах мощностью 2-10 $МВт_т$.

Superadiabatic Gasification Prospects for Processing Contaminated Wastes with Energy Generation

G.B. Manelis
E. V. Polianczyk
V.G. Shteinberg
Institute of Chemical Physics, Chernogolovka, Russia
Russian Academy of Sciences

ABSTRACT

The method is based on counterflow gasification of combustible waste with air or air-steam oxidant. It includes the following steps:

1. preparation of the raw material;
2. pyrolysis and gasification in superadiabatic regime of combustion with production of fuel gas;
3. cleansing of the product gas of dust, sulfur- and chlorine-containing admixtures, and other pollutants;
4. afterburning of the combustible product gas in a boiler with production of heat and, possibly, electricity generation; and,
5. [optional, when (3) is insufficient] cleansing the smoke gas of pollutants.

Superadiabatic regimes of combustion in a counterflow reactor (e.g., type of a shaft kiln) can be materialized when the process is arranged so that the oxidant gas filters through the ash, which lends its heat to the gas, and the gas reaches the combustion zone being preheated. The ash, on the other hand, leaves the reactor being substantially cool. At the same time, the gaseous products of combustion (gasification) cool down as they filter through fresh fuel, while the fuel heats and partially pyrolizes. So both oxidant and fuel enter the combustion zone being heated over their initial temperature, and when they react, they heat to a temperature much higher than the temperature they would reach if they were mixed cool (the theoretical limit of the latter temperature is by definition the adiabatic temperature, hence the name "superadiabatic"). When both the product gas and ash leave the kiln being substantially cool, the heat of the reaction is efficiently trapped within the reaction zone.

This flow pattern is inherent in all counterflow processes, yet those known from the previous part do not provide strong heat recovery within the process. The superadiabatic regime, to materialize, requires not only the above-described flow pattern, but also harmonization of stoichiometry of the reactions in the combustion zone with the heat exchange in the heat recovery (preheating) zones above and below the combustion zone, and with the dynamics of the gas flow. It also requires the geometry of the reactor to be in accord with the presence of these zones. With the heat recovery brought to perfection, one can achieve a very high heating with a low overall heat effect (including negative heat effect of endothermic reactions, e.g., water-gas reactions if steam is introduced with the air). Owing to high temperature, the chemical equilibria in the hot zone, where hot carbon (char) is present, the shift to formation of combustible gases such as hydrogen

of energy conversion (calorific value of initial fuel referred to that of the product gas) can be achieved in the process.

Enhanced efficiency of energy conversion achieved in the superadiabatic regime (in certain cases 95%) is an advantage of the process over conventional methods. The other advantages include the following:

A high and independently controllable temperature in the combustion zone provides a possibility not only to achieve high energy efficiency, but also to obtain the gas with a high content of combustible gases (hydrogen, carbon monoxide), which can be afterburnt efficiently. High efficiency of gasification additionally means that air consumption in the process drops (oxidation to carbon monoxide requires half that to dioxide), and overall volume of the product gas shrinks. Low linear velocity of the gas secures low entrainment of dust in the product gas. Pertaining to incineration of radioactive wastes, the high-controllable temperature in the combustion zone provides a possibility to achieve partial caking or vitrification of ash residue to obtain it in non-leachable form. Alternatively, owing to high tolerance to ash content, the process provides a possibility to add limestone to material incinerated so as to obtain binding material that can be buried safely. The low temperature of the product gas renders unnecessary exterior units for its quenching and heat exchanges to use the heat of gas. As applied to gasification of wastes contaminated with radionuclides (biomass, technogenic combustible wastes), this provides a possibility to cleanse particulates of the product gas rather than smoke gas. The former has a lower temperature and substantially smaller volume. In the context of gas cleansing, tars are more a friend than foe since each dust particle acts as a condensation center for tars; therefore, the efficiency of containment of dust particles bearing radionuclides is enhanced. Tars and dust traces recovered can be backfed with fresh fuel so that solid products are withdrawn only with ash. It is important that this arrangement allows one to restrict radioactive pollution to the reactor and gas-cleansing unit, leaving the boiler uncontaminated.

Owing to high energy efficiency, the limits of combustibility, where moist or high-ash materials can be processed, are broader as compared with the conventional methods.

This method provides a possibility to achieve incineration of combustible radionuclide-contaminated wastes for safer burial of ash residue and with making use of their heat content.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Возможности суперадиабатической газификации для переработки загрязненных отходов с выработкой энергии

Г. Б. Манелис
Е. В. Пиляньцук
В. Г. Штейнберг
Институт Химической Физики, Черноголовка, Россия
Российская Академия Наук

ВЫДЕРЖКИ

Метод основывается на противоточной газификации горючих отходов с воздушным или воздушно–паровым окислителем. Он включает следующие шаги:

1. подготовку сырьевого материала
2. пиролиз и газификацию в суперадиабатическом режиме сжигания с получением топливного газа
3. очистку выработанного газа от пыли, серосодержащих и хлорсодержащих примесей и других загрязнений
4. дожигание горючего выработанного газа в котлоагрегате с получением тепла и, возможно, выработкой электроэнергии
5. [дополнительно, когда (3) является недостаточным] очистка дымового газа от загрязнений.

Суперадиабатические режимы сжигания в противоточном аппарате, в котором проходит реакция (к примеру, типа шахтной печи) может производиться, когда процесс построен таким образом, чтобы газ–окислитель профильтровывался через золу, которая передает свой нагрев газу, и газ поступает в зону сжигания в подогретом виде. Зола, с другой стороны, выходит из реакционного аппарата будучи значительно охлажденной. В то же самое время газообразные продукты сгорания (газификации) охлаждаются по мере прохождения через свежее топливо, приводя к нагреванию топлива и его частичному пиролизу. Итак, и окислитель и топливо, поступающие в зону сжигания, подогреваются по сравнению со своей исходной температурой, и, когда они вступают в реакцию, они разогреваются до температуры, значительно превышающей температуру, которую бы они достигли при смешивании в холодном виде (теоретически значение последней по определению носит название адиабатической температуры, откуда и возникает термин «суперадиабатическая»). Когда выработанные газ и зола покидают печь, будучи значительно охлажденными, результирующее тепло реакции, по сути дела, остается “уловленным» в пределах зоны реакции.

Такой тип потоков присущ всем противоточным процессам, тем не менее описанные в предыдущей части потоки не обеспечивают высокой рекуперации теплоты в рамках

процесса. Для осуществления суперадиабатического режима требуется не только описанный выше ход потоков, но также гармонизация стехиометрии реакции в зоне сжигания с теплообменом в зонах рекуперации тепла (предварительного нагрева), расположенных выше и ниже зоны сжигания, и с динамикой газового потока. Он также требует, чтобы геометрические параметры реакционного аппарата соответствовали присутствию таких зон. С доведением до совершенства рекуперации тепла можно добиться очень высокой выработки тепла при низких тепловых эффектах в целом (включая негативный тепловой эффект эндотермических реакций, к примеру, водно-газовых реакций при добавлении в воздух пара). Благодаря высокой температуре, химические равновесия в горячей зоне, где находится горячий углерод (обуглившееся вещество), смещаются в сторону формирования горючих газов, таких как водород и моноксид углерода и тепловой эффект в целом существенно падает. Таким образом в процессе может быть достигнут очень высокая эффективность преобразования энергии (теплотворность исходного топлива по отношению к таковой для выработанного газа).

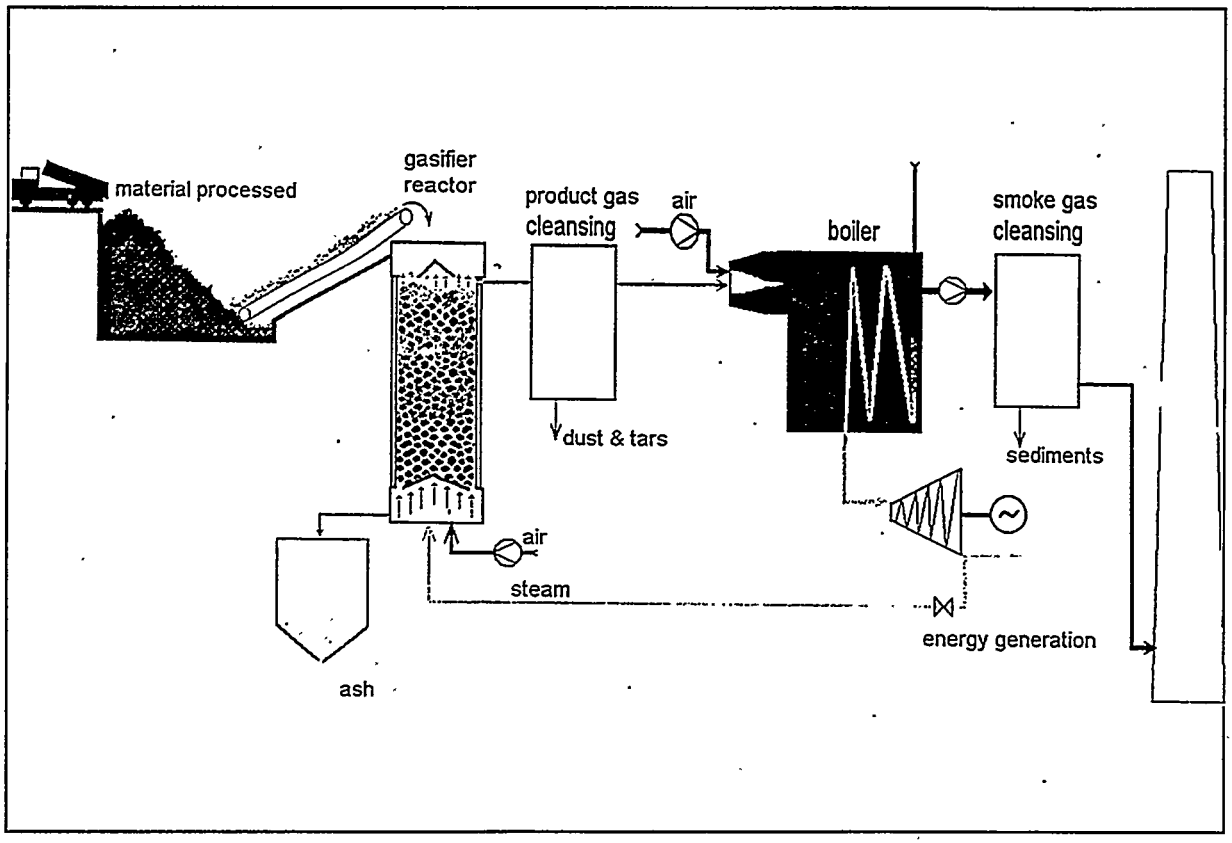
Повышенная эффективность преобразования энергии, достигаемая в суперадиабатическом режиме (в некоторых случаях 95%), является преимуществом процесса по сравнению с традиционными методами. Другие преимущества включают в себя следующее:

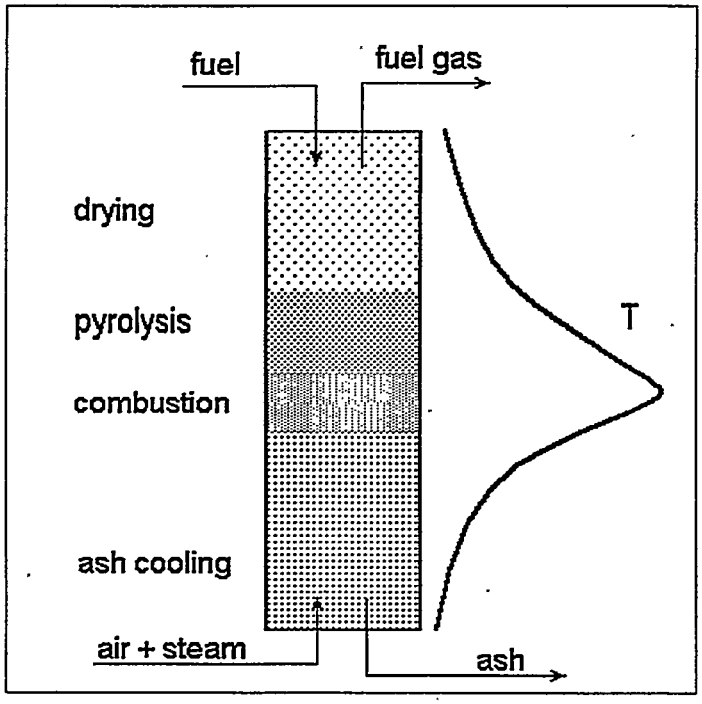
Высокая и независимо управляемая температура в зоне сжигания обеспечивает возможность не только достижения высокой энергетической эффективности, но также получения газообразного продукта с высоким содержанием горючих газов (водород, окись углерода), которые могут эффективно дожигаться. Высокая эффективность газификации означает дополнительно, что потребление воздуха в ходе процесса падает (окисление углерода до окиси углерода требует половину такого объема для двуокиси) и сокращается общий объем вырабатываемого газа. Низкая линейная скорость потока газа обеспечивает низкий захват вырабатываемым газом пылевых частиц. Относительно сжигания радиоактивных отходов, высокая управляемая температура в зоне сжигания дает возможность добиваться частичного спекания или стеклования зольного осадка для получения не поддающихся ощелачиванию форм. Кроме того, благодаря широкому пределу допустимого состава золы, процесс обеспечивает возможность добавления известняка к сжигаемому материалу с целью получения связующего материала, позволяющего безопасное захоронение. Низкая температура вырабатываемого газа делает ненужными внешние приспособления для его охлаждения и теплообменники для утилизации температуры газа. Применительно к газификации отходов, загрязненных радионуклидами (биомассы, техногенных горючих отходов), это дает возможность производить очистку от твердых частиц в вырабатываемом газе, а не в дымном газе. Первый имеет более низкую температуру и значительно меньший объем. В контексте газоочистки смолы являются скорее другом, чем врагом, поскольку каждая пылевая частица действует как центр конденсации для смол и, повышая, тем самым, эффективность покрытия пылевых частиц, несущих радионуклиды. Уловленные смолы и остатки пыли могут быть отправлены обратно в печь вместе со свежим топливом с тем, чтобы твердые продукты извлекались только вместе с золой. Важно, чтобы такое устройство позволяло ограничивать радиоактивное загрязнение в пределах реакционного аппарата и газоочистительного устройства, оставляя котлоагрегат не загрязненным.

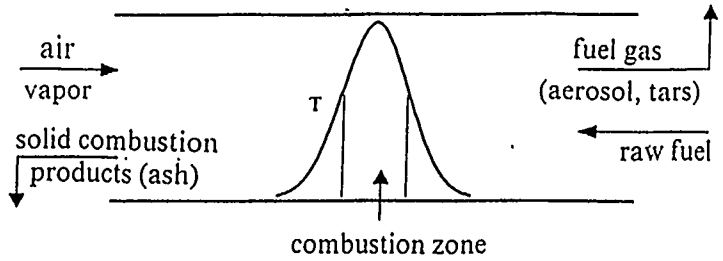
Благодаря высокой тепловой эффективности, диапазон горючести, при котором могут

Благодаря высокой тепловой эффективности, диапазон горючести, при котором могут перерабатываться влажные материалы и материалы с высоким содержанием золы, шире по сравнению с обычными методами.

Данный метод дает возможность достигать сжигания горючих загрязненных радионуклидами отходов для безопасного захоронения зольного остатка и с использованием их теплотворности.


material processed
gasifier reactor
product gas cleansing
air
boiler
smoke gas cleansing
dust & tars
sediments
air
steam
energy generation
ash


fuel
fuel gas
drying
pyrolysis
combustion
ash cooling
air + steam
ash
T



In the combustion zone:

$\Delta T_m\ m > \Delta T_{ad} = Q/c$ Q - heat effect
c - heat capacity

$2C + O_2 \rightarrow 2CO + Q\ (O_2)$

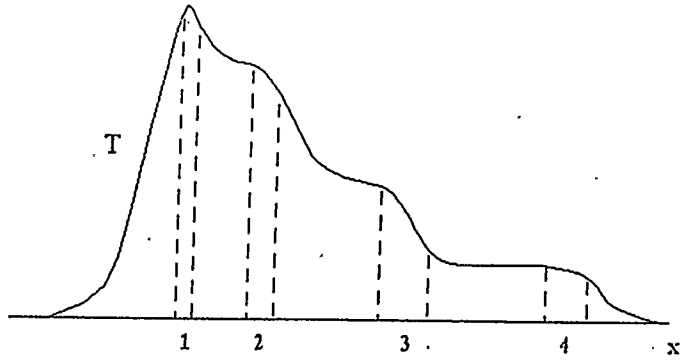
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 - Q\ (H_2O)$ oxidation

$C_nO_m \rightarrow C + C_xH_y \pm Q\ (C_nO_m)$ pyrolysis

Advantages of the process:

a) Variation of T in broad ranges (800-2000 K)
b) High rate
c) High energetical efficiency coefficient (up to 95%)
d) Processing materials containing up to 90% of ash and up to 80% of water
e) High ecological safety
f) No need in energy supply
g) Solution of ecological problems with simultaneous production of energy and valuable products of processing

АВТОЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА В ПРОСТРАНСТВЕ



1. Окисление углерода: $2C + O_2 \rightarrow 2CO$
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

2. Пиролиз и испарение летучих:
$C_x H_y O_z \rightarrow C + \Sigma\ C_m H_n + CO_2 + H_2O$

3. Конденсация летучих и испарение воды

4. Конденсация воды

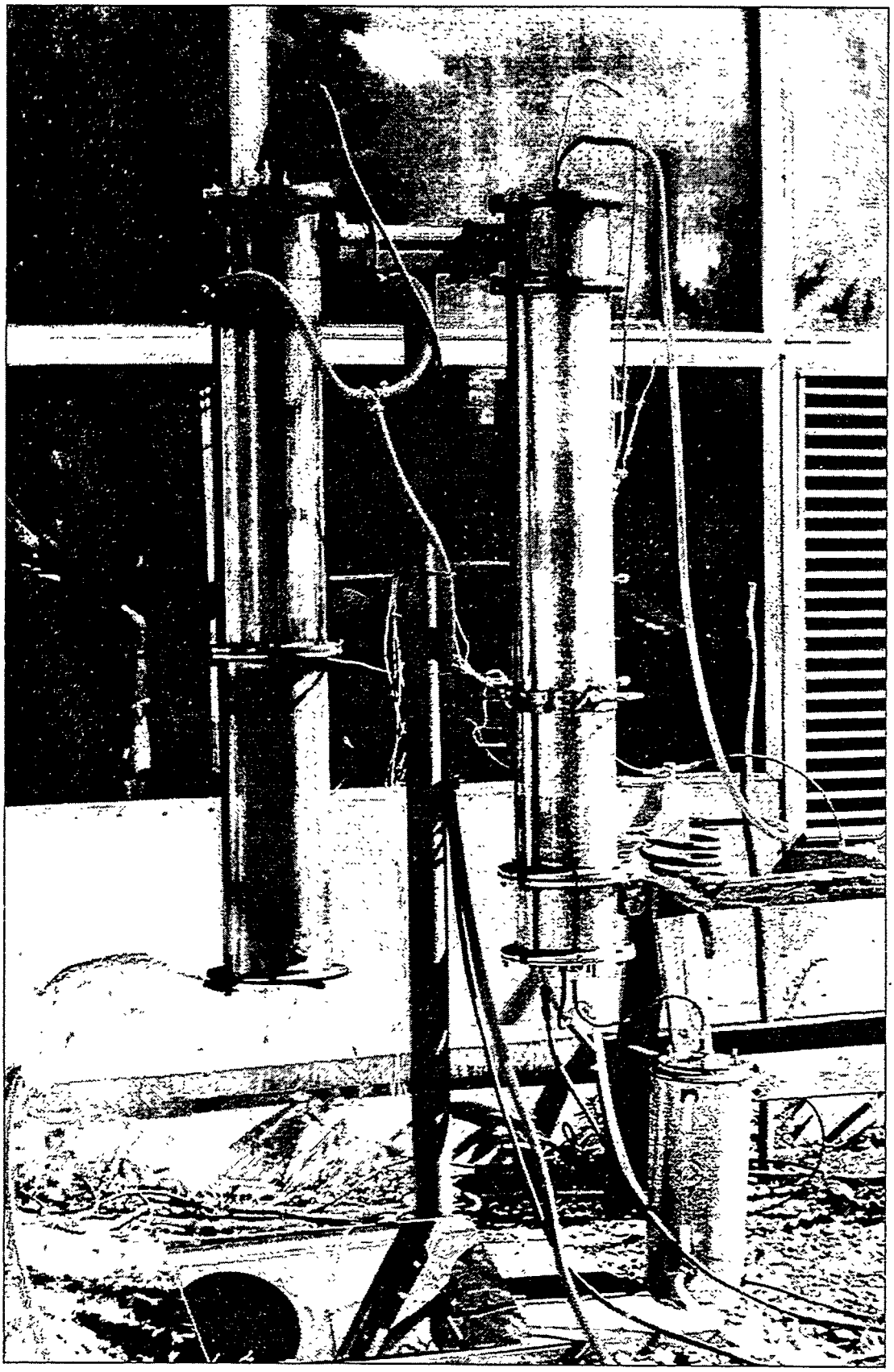
ПРИЧИНЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ

Различие энергий активации при наличии распределения температур.

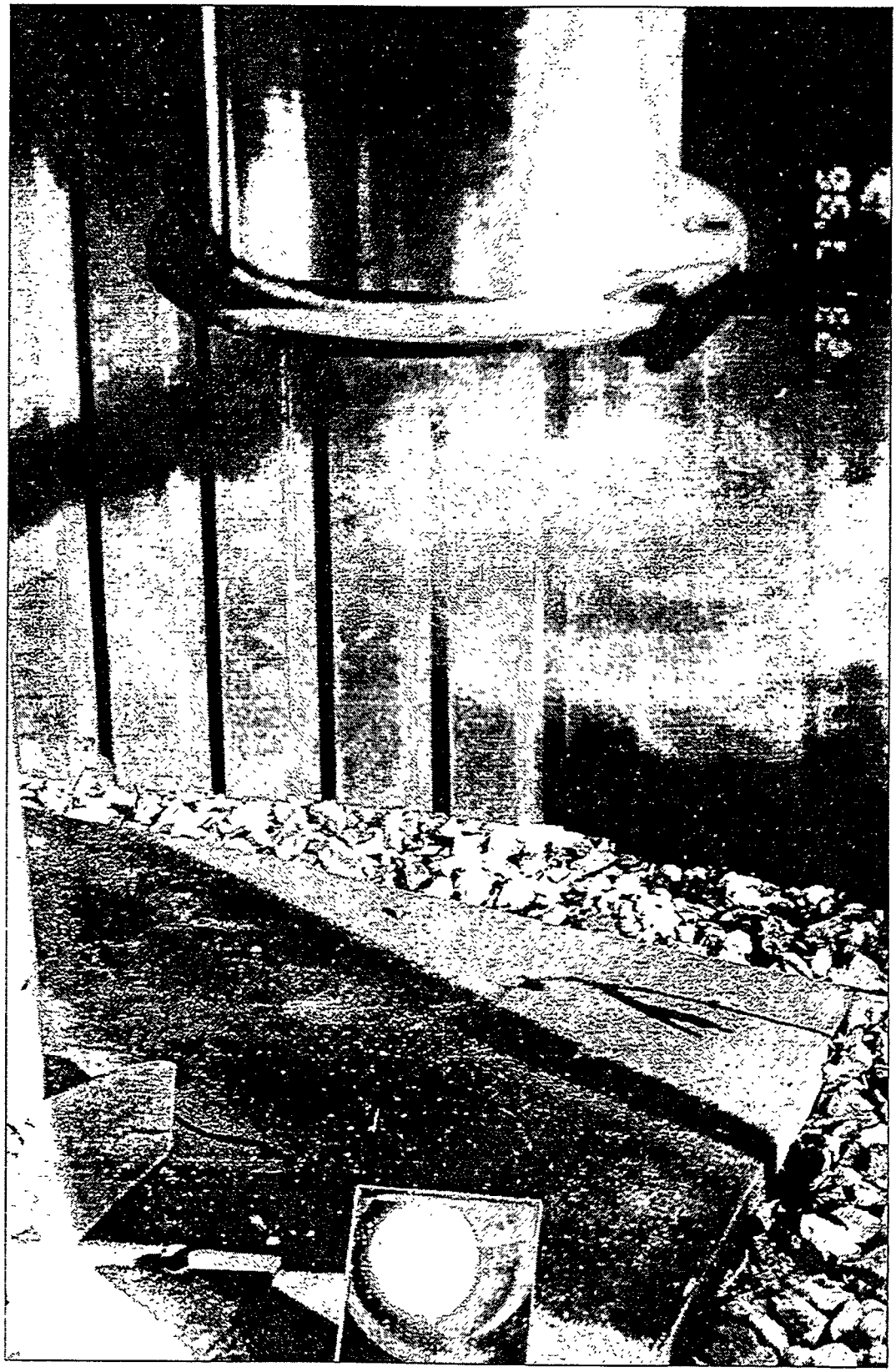
Различие стехиометрических коэффициентов и концентрационной зависимости скоростей превращения.

Гетерогенность системы.

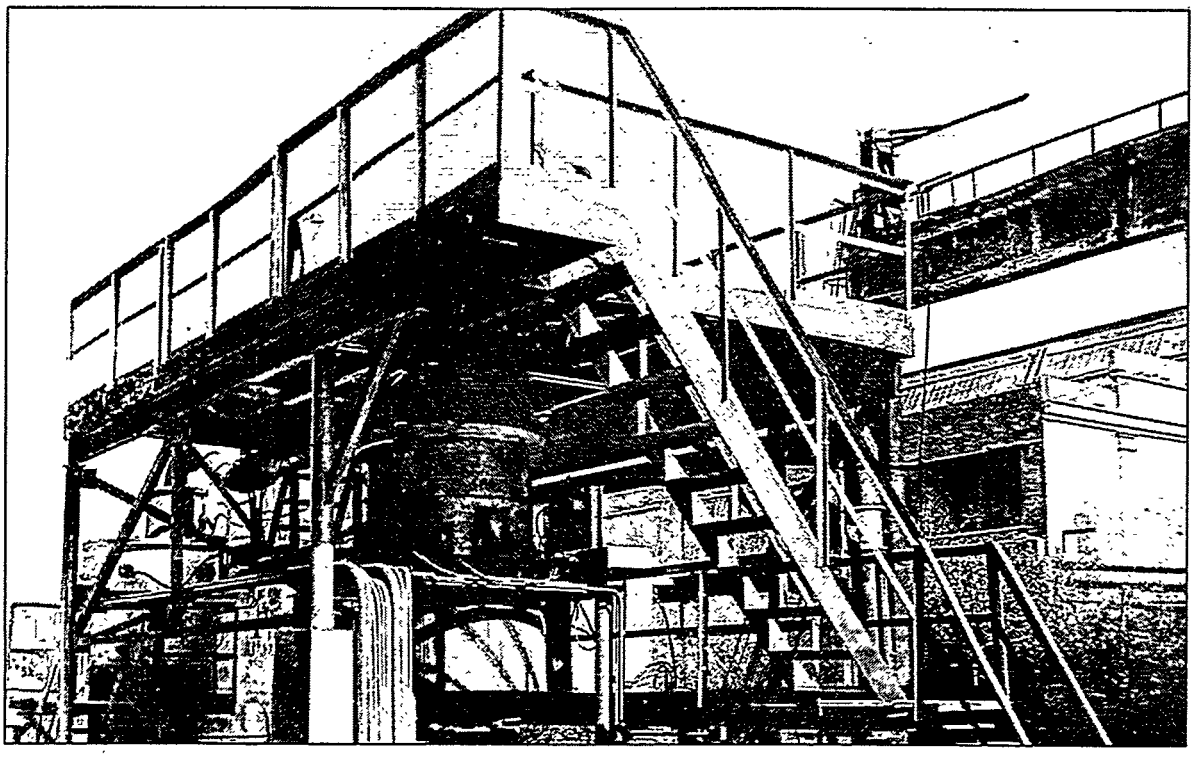
Различие скоростей превращения и перемешивания.

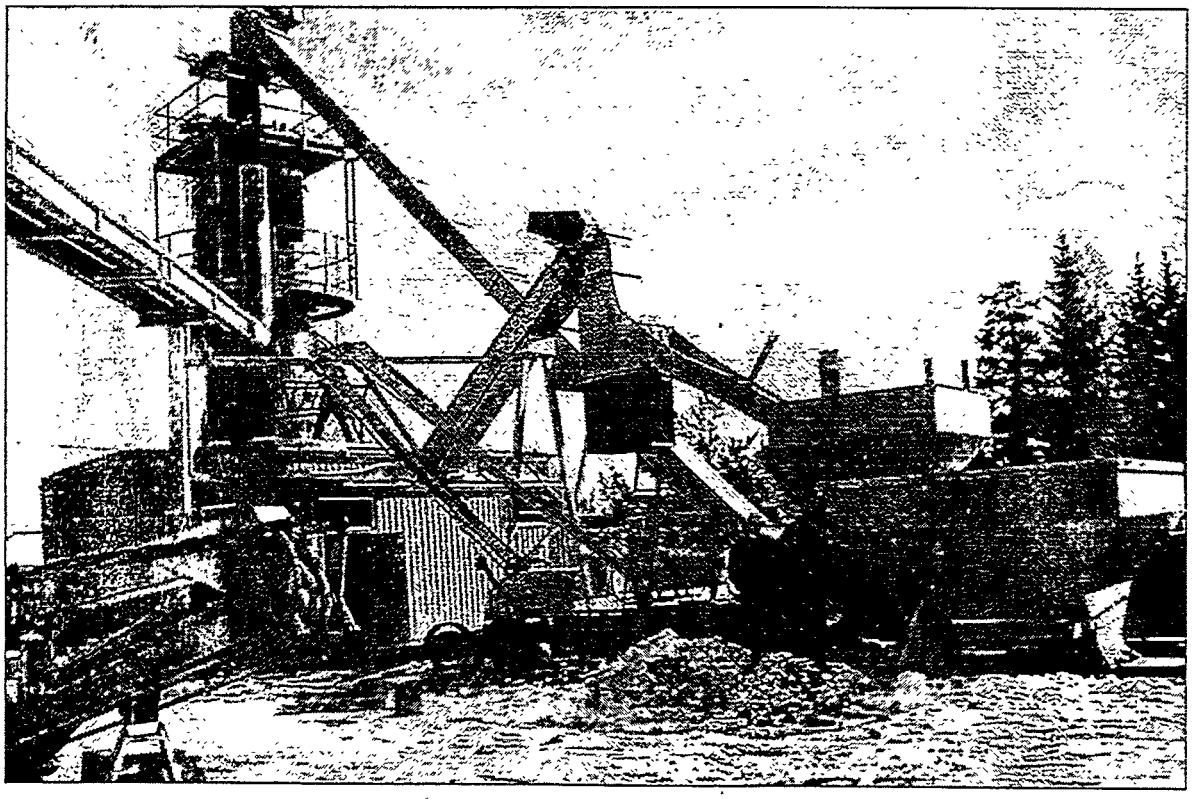


Superadiabatic Gasification Prospects for Processing Contaminated Wastes with Energy Generation
G.B. Manelis, E.V. Polianczyk, V.G. Shteinberg



Superadiabatic Gasification Prospects for Processing Contaminated Wastes with Energy Generation
G.B. Manelis, E.V. Polianczyk, V.G. Shteinberg





Feasibility Study of Different Contaminated Biomass Conversion Options

A Yakushau
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

ABSTRACT

Belarus has few domestic opportunities for power production and projects a power shortage by 2010. Wood-fired conversion is a good option for Belarus. An economic analysis showed gasification with a poor return, boiler fired conversion was fairly good, and co-firing was best. The social benefit was not costed, but it was assumed that doing something was better than nothing.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Технико–экономическое обоснование различных вариантов преобразования загрязненной биомассы

А. Якушау
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

ВЫДЕРЖКИ

Беларусь не располагает большими внутренними возможностями по выработке электроэнергии и прогнозирует энергетический дефицит к 2010 году. Преобразование в энергию, основанной на сжигании древесины, представляет собой хороший вариант для Беларуси. Экономический анализ показал, что газификация дает плохую отдачу, преобразование со сжиганием в котлоагрегатах является довольно хорошим процессом, а побочное сжигание представляет собой наилучший вариант. Оценка социальных выгод не проводилась, однако за предположение берется то, что лучше делать что-то, чем ничего.

Design of Commercial Cogeneration Stations Suitable for Radionuclide-Contaminated Fuels

Helle Junker
Elsamprojekt, Fredericia, Denmark

ABSTRACT

As the strategy in the choice of power plant concept for combustion of radioactive contaminated wood and forest litter, it has been chosen to use well proven and reliable commercially available components to the widest possible extent. The design will focus on producing the most robust, forgiving system consistent with the best design practices.

The presentation for the workshop focused on the conceptual design for a demonstration plant for combustion of radioactive contaminated fuels: wood and forest litter. The demonstration plant is intended to be situated at the Svetlogorsk Power Plant, where it will be substituted for an older natural gas fired unit. The wood-fired boiler will use the existing facilities, i.e., the steam turbines and electric power distribution grid.

The boiler will be a 100 t/h (~23 MW_e) grate-fired boiler using membrane wall technology for the combustion chamber. This boiler is large enough to be in the size of commercial interest. However, due to lack of infrastructure for fuel harvesting and transportation, the boiler should not exceed this size. The boiler type chosen is a proven and robust technology that can be manufactured and operated in FSU. The superheating of the steam is determined by the inlet conditions to the existing turbines: 98 bar and 540 C.

The following plant components will deviate from a conventional wood-fired plant due to the radioactive contamination of the fuels:

- The forest litter/duff needs a separate feeding system and dust prevention from the stacks, and the feeding of fuels may be needed.
- A high performance filter system is needed to collect the submicron Cs-containing particles formed in the flue gas. A baghouse with Goretex fabric bags is believed to be the best choice.
- The removal of the bottom ash from the boiler and the fly ash from the filter has to be done in a manner to prevent dust.
- The ash needs to be disposed of in dedicated deposits intended to be in compliance with the IAEA regulations for interventions (disposal of low-level radioactive waste).

On the basis of the analyses of the plant design for power production from radioactive contaminated wood and forest litter, it can be concluded that if the plant is designed carefully, we will be able to address all the hazards for combustion of radioactive-contaminated fuels. However, if the design is not done carefully, the radiological risks may be increased.

The results presented are being carried out under the "Chornobyl Bioenergy Project," a project that has been developed in a collaboration with the Belarusian EPA as a shared effort between individual international partners: Sandia National Laboratories, California, USA; Wheelabrator Environmental Systems, USA; The Institute of Power Engineering Problems, Belarus; ELSAMPROJEKT, Denmark; Riso National Laboratories, Denmark; and The Danish Forest and Landscape Research Institute, Denmark.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Разработка коммерческих станций по выработке тепловой и электрической энергии, подходящих для работы на загрязненных радионуклидами видах топлива

Хелли Джанкер
Организация Elsamproject, Фредерисия, Дания

ВЫДЕРЖКИ

В качестве стратегии при выборе концепции электростанции для сжигания загрязненных радионуклидами древесины и лесной подстилки, было решено использовать в как можно более широком масштабе хорошо зарекомендовавшие себя и надежные коммерчески доступные компоненты. Дизайн будет концентрироваться на разработке наиболее стойкой, надежной системы согласно наилучшим методам конструирования.

Доклад на семинаре фокусировался на концептуальном дизайне для демонстрационной станции по сжиганию радиоактивно загрязненных видов топлива: древесины и лесной подстилки. Демонстрационную станцию предполагается расположить при Светлогорской Электростанции, где он послужит заменой старого, работающего на природном газе энергоблока. Работающий на сжигании древесины котлоагрегат будет использовать уже имеющиеся объекты, такие как паровые турбины и сеть распределительных линий электропередачи.

Котлоагрегат будет представлять собой колосниковый котел на 100 т/ч (≈23 $МВт_e$) с использованием технологии мембранных стенок для топочной камеры. Такой котлоагрегат имеет достаточно большой размер, чтобы представлять коммерческий интерес. Вместе с тем, в силу недостатков инфраструктуры для сбора и перевозки источников топлива, котлоагрегат должен не превышать такого размера. Тип выбранного котлоагрегата основан на технологии, которая показала себя работоспособной. Котлоагрегат должен производиться и эксплуатироваться в бывшем Советском Союзе. Пароперегрев определяется значениями на входе для существующих турбин: 98 бар и 540°C.

Следующие компоненты станции будут отличаться от обычной, работающей на древесине станции в силу радиоактивного загрязнения энергоносителей:

- Для лесной подстилки необходима отдельная система подачи и предупреждение пылеобразования от стоп подстилки, и может потребоваться подача топлива.

- Для улавливания формирующихся в топочном газе содержащих цезий частиц размером около микрона потребуется высокопроизводительная система фильтрования. Полагается, что наилучшим выбором является пылеуловитель с рукавными фильтрами из ткани Goretex.

- Удаление зольного остатка из котлоагрегата и летучей золы с фильтра должно проводиться так, чтобы предотвращать образование пыли.

- Захоронение золы должно проводиться в специальных хранилищах, предназначенных для удовлетворения требованиям МАГАТЭ (по захоронению низко радиоактивных отходов).

Основываясь на анализе дизайна станции для выработки электроэнергии из радиоактивно загрязненной древесины и лесной подстилки, можно сделать заключение, что, если станция будет разработана тщательно, то мы сможем разрешить все опасности сжигания радиоактивно загрязненных видов топлива. Вместе с тем, если при разработке не будет проявлена тщательность, то радиологический риск может возрасти.

Представленные результаты были достигнуты в рамках «Чернобыльского биоэнергетического проекта», проекта, разработанного в сотрудничестве с Белорусским ведомством по охране окружающей среды, как совместной работы между отдельными международными партнерами: Сандийской Национальной Лабораторией, штат Калифорния, США; компанией Wheelabrator Environmental Systems, США; Институтом Энергетических Проблем, Беларусь; организацией ELSAMPROJECT, Дания; Национальными Лабораториями Рисо, Дания, и Датским Исследовательским Институтом Лесного хозяйства и Ландшафта, Дания.

Design of Commercial Cogeneration Stations Suitable for Radionuclide Contaminated Fuels

Helle Junker, ELSAMPROJEKT

Partners in: "*Chernobyl Bioenergy Project*":

- Institute of Power Engineering Problems, Belarus
- Sandia National Laboratories, California, USA
- Wheelabrator Environmental Systems Inc., USA
- ELSAMPROJEKT, Denmark
- Risø National Laboratory, Denmark
- Danish Forest and Landscape Research Institute, Denmark

Chernobyl Bioenergy Project

Conceptual design for the site for the demonstration plant:
Svetlogorsk Cogeneration Power Plant

History:

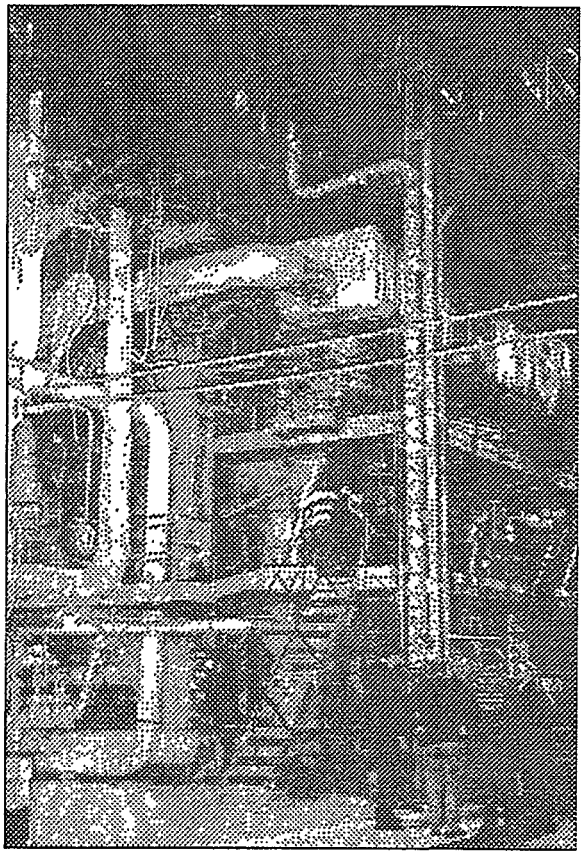
- Initially a coal/peat fueled energy facility.
- Renovated In the beginning of 60ths and a number of gas-fired boilers were installed for the first time in Belarus
- Today: nine steam generating boilers coupled with six turbines

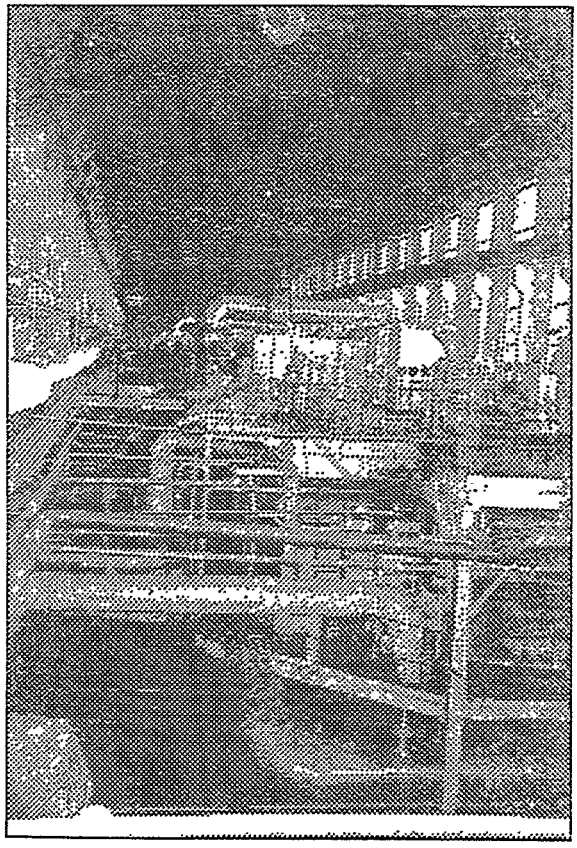
Chernobyl Bioenergy Project

Design Criteria for Demonstration Plant:

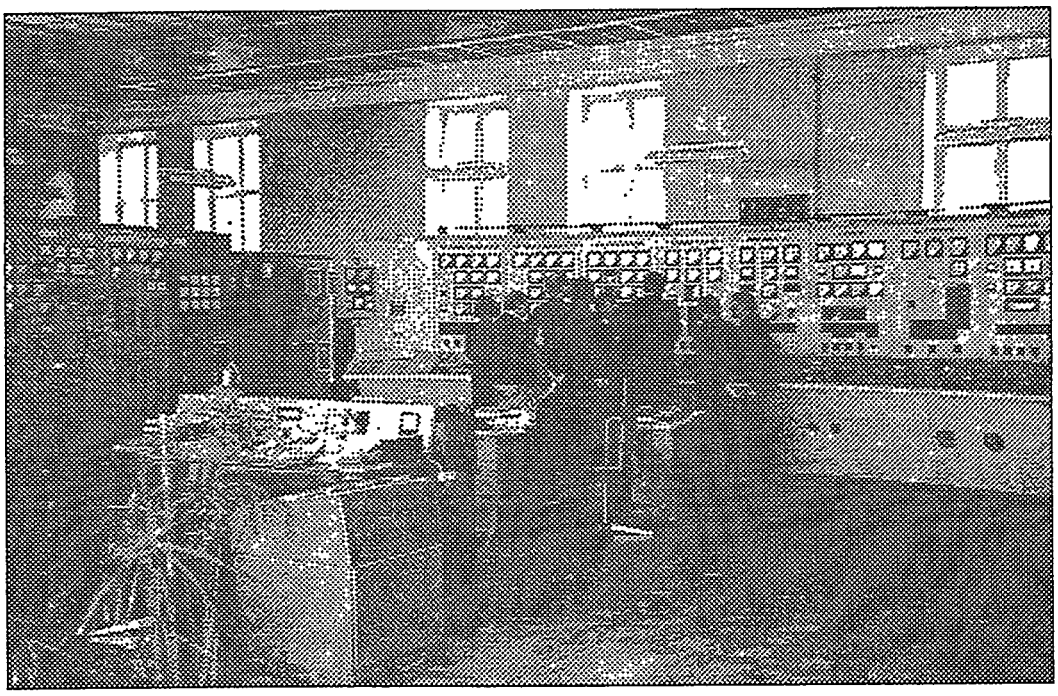
- Boiler type: Grate fired boiler, Membrane wall technology
- Boiler size: 100 t/hr steam production (~23 MW_e)
- Superheating of steam: 98 bar, 540 °C
- Fuel consumption: 9.1 kg/s (33 t/h 0 109 m^3/hr)

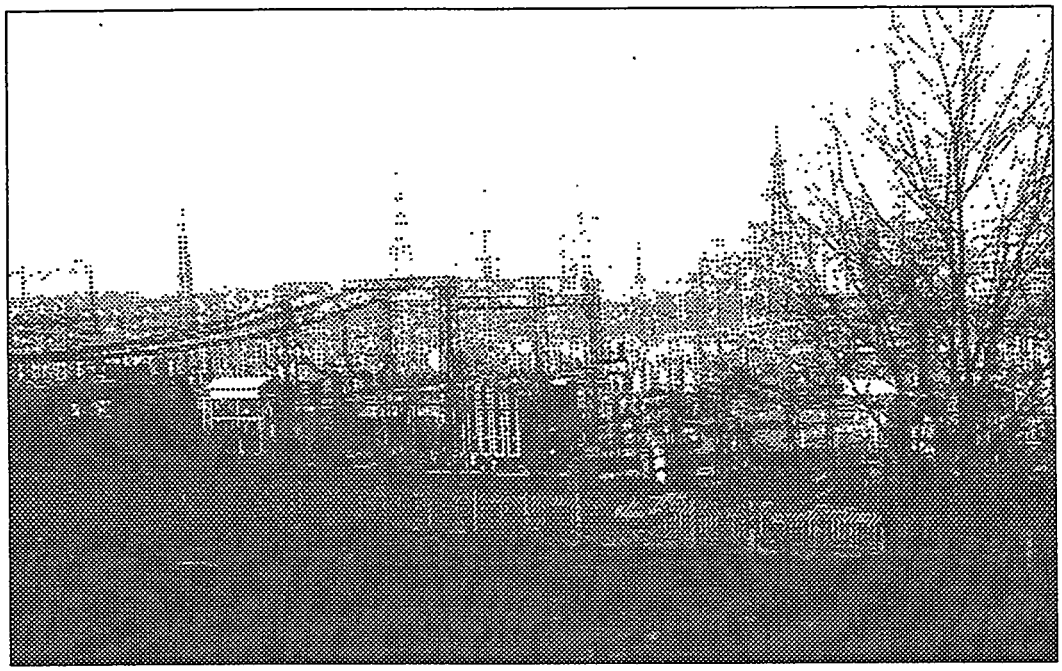
Svetlogorsk Cogeneration Power Plant – Site for Demonstration Plant



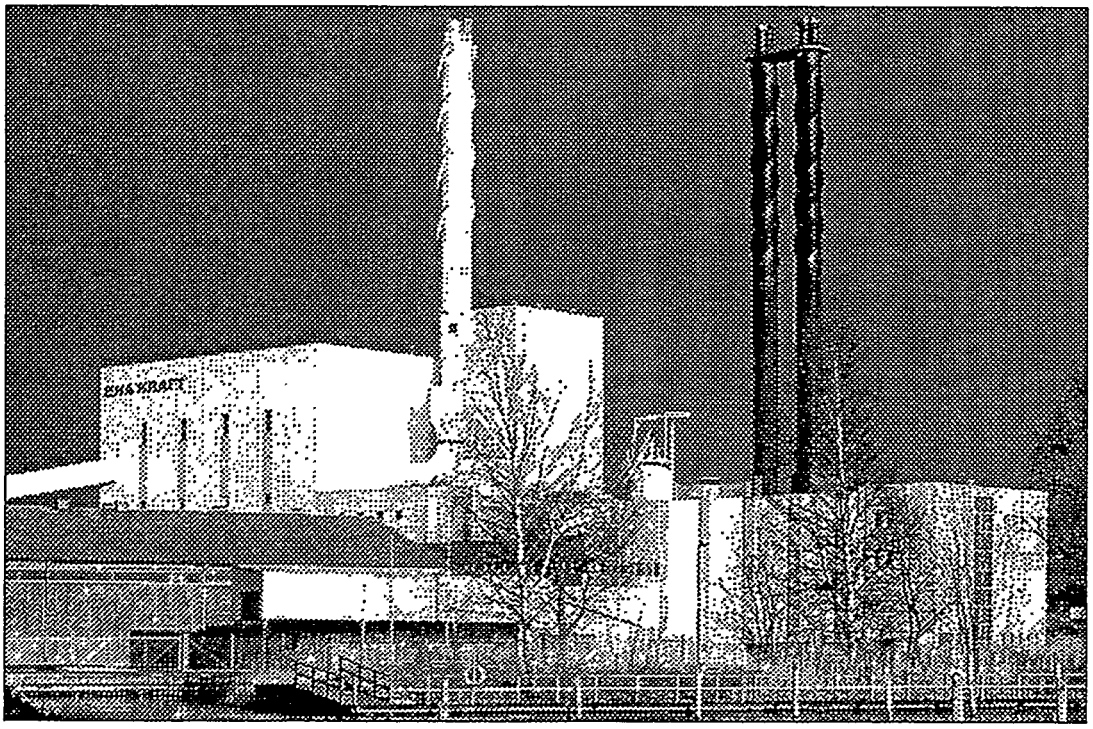


Svetlogorsk Cogeneration Power Plant
Site for Demonstration Plant



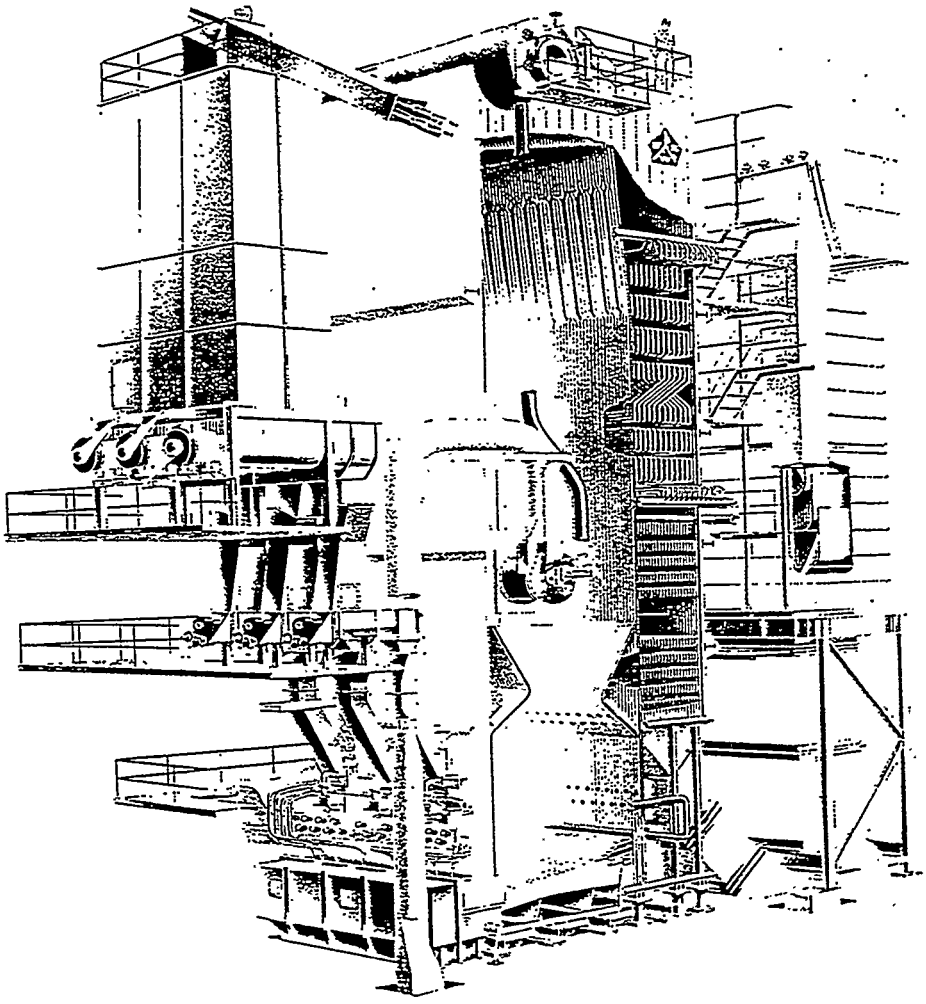


108 t/h Biomass-Fired Boiler for the Generation of Combined Heating and Power at Ena Kraft, Sweden



BWE Multi-fuel Boiler with Water-Cooled Vibration Grate

- Compact boiler design
- Good load adjustability
- Possibility for firing supporting fuel

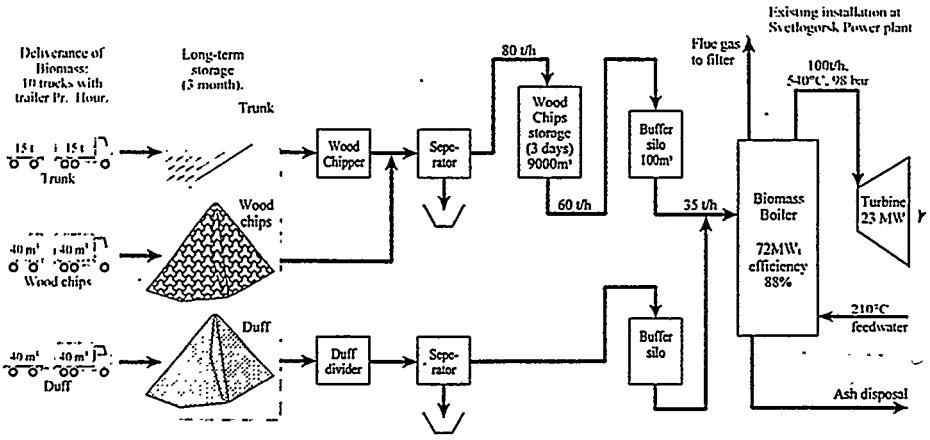


Chernobyl Bioenergy Project

Differences to account for in plant design:

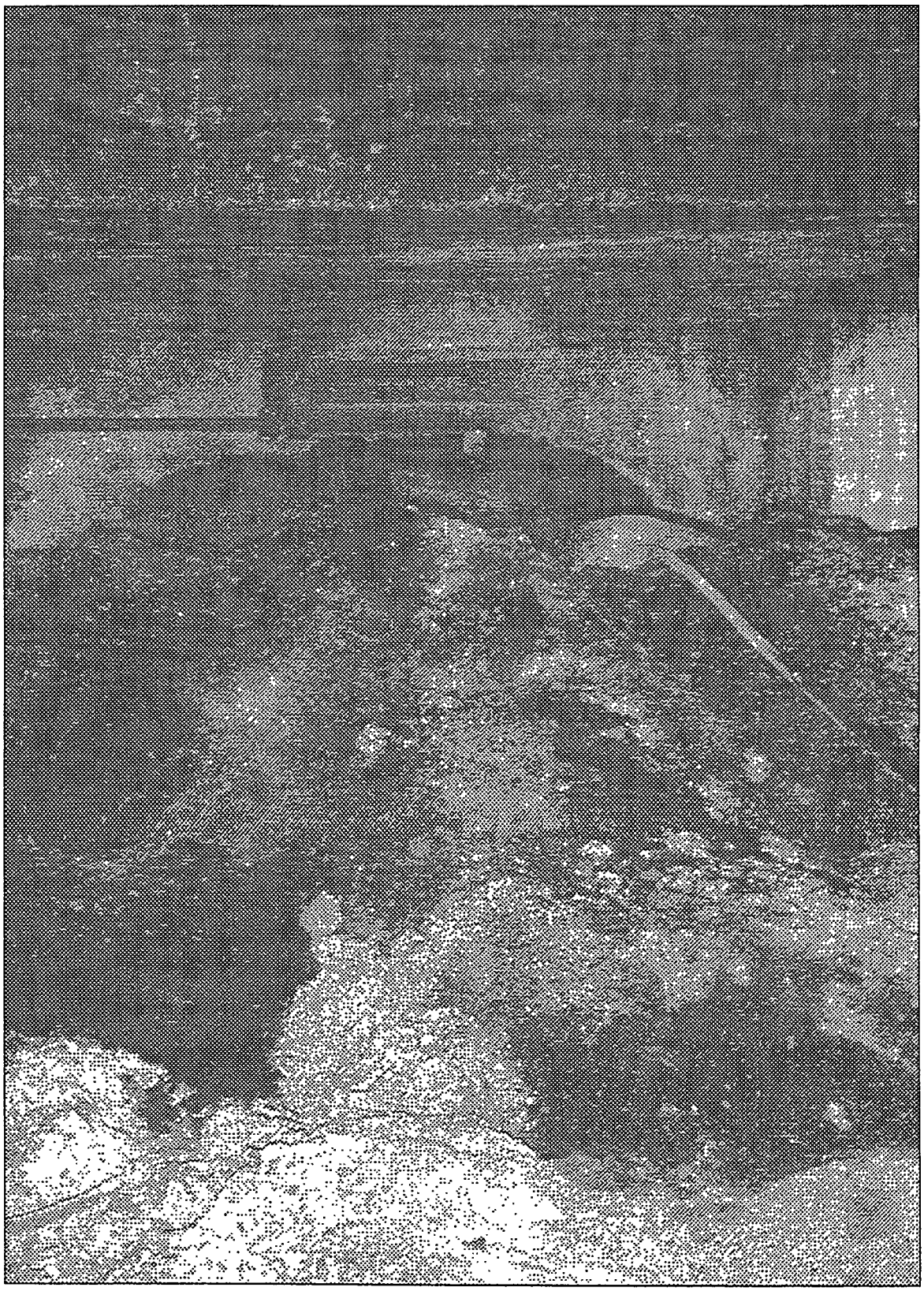
- Feeding system (Burning duff/forest litter)
- Filter system - Baghouse
- Removal of bottom ash and fly ash
- Disposal of ash

Biomass handling system for 72 MW$_t$ boiler.

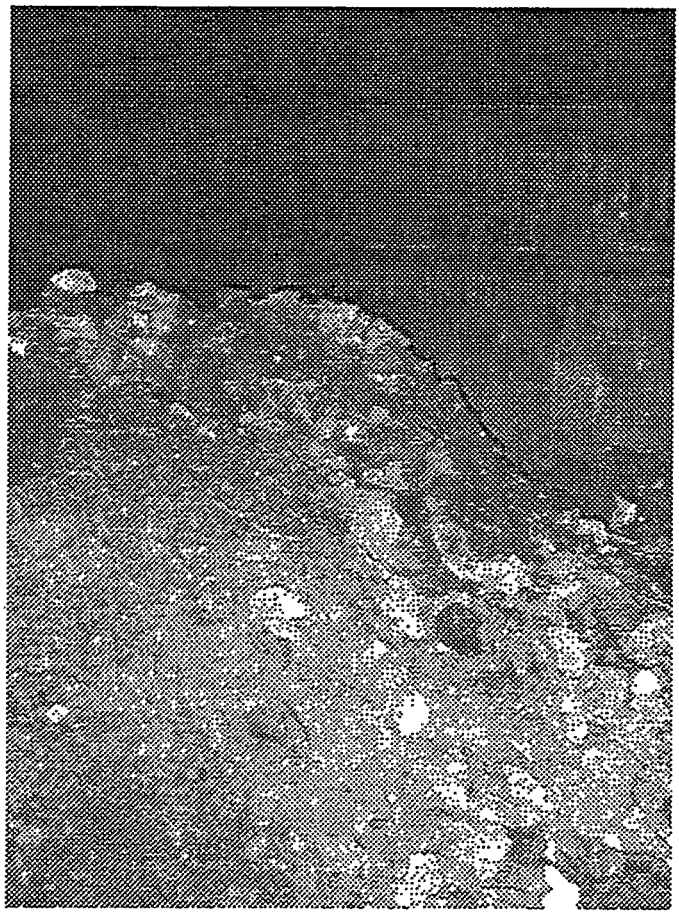


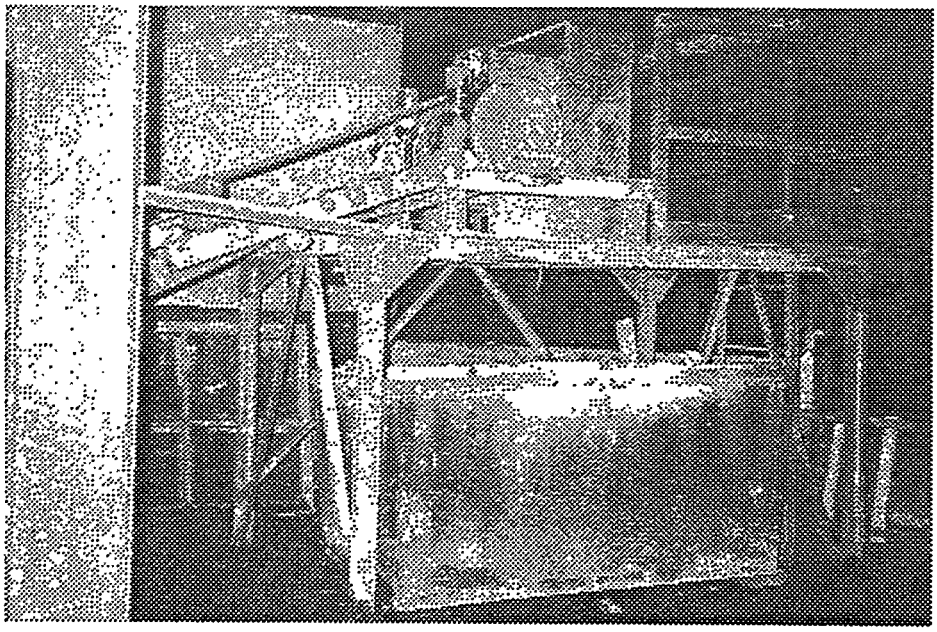
Design conditions for feeding system.
0 - 100% Wood chips feeding.
0 - ? Duff feeding - Boiler dependent.

RechitzaDrev Joint Stock Sawmill – Site for pilot plant



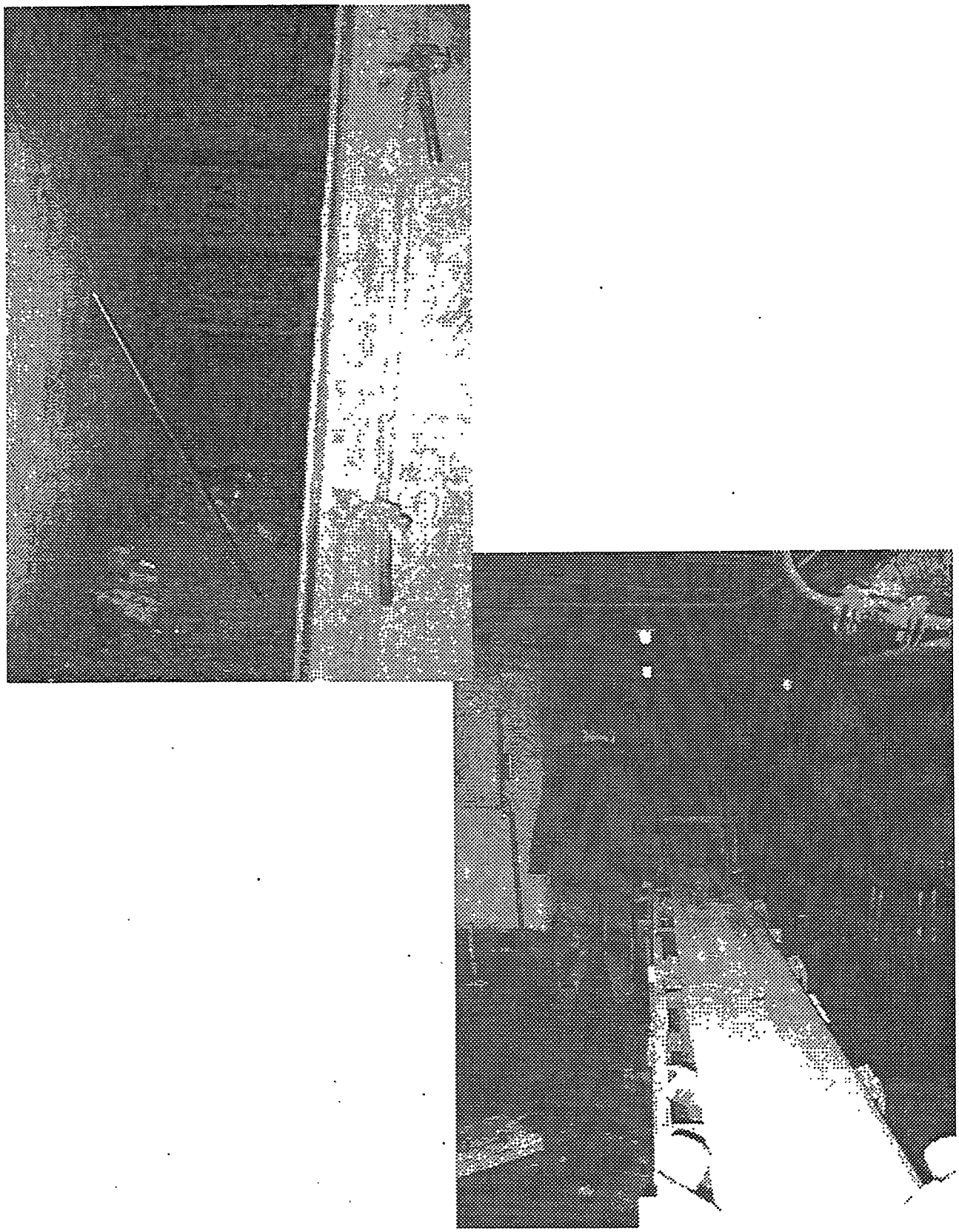
RechitzaDrev Joint Stock Sawmill – Site for pilot plant





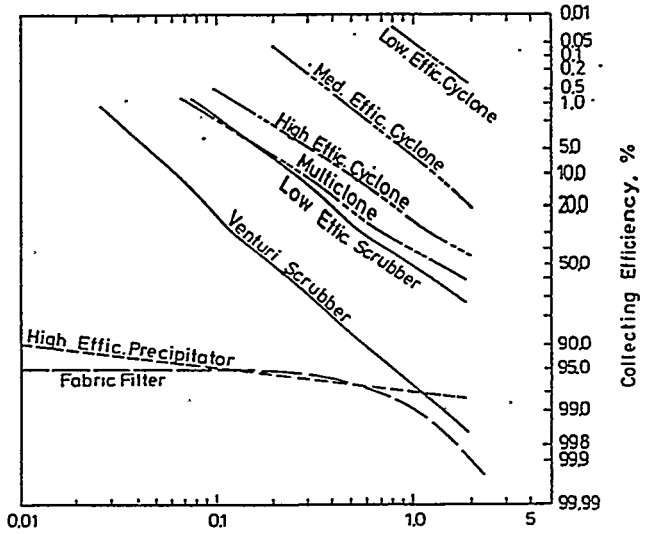
Design of Commercial Cogeneration Stations Suitable for Radionuclide Contaminated Fuels
Helle Junker, ELSAMPROJEKT

RechitzaDrev Joint Stock Sawmill – Site for pilot plant



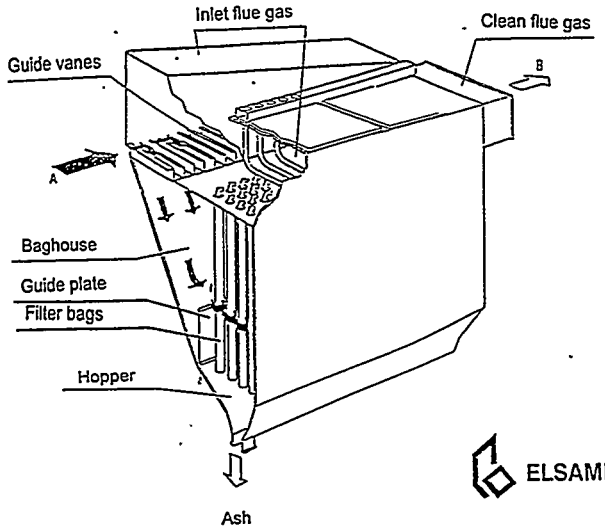
Design of Commercial Cogeneration Stations Suitable for Radionuclide Contaminated Fuels
Helle Junker, ELSAMPROJEKT

Fractional Efficiency of Dust Collection Equipment.

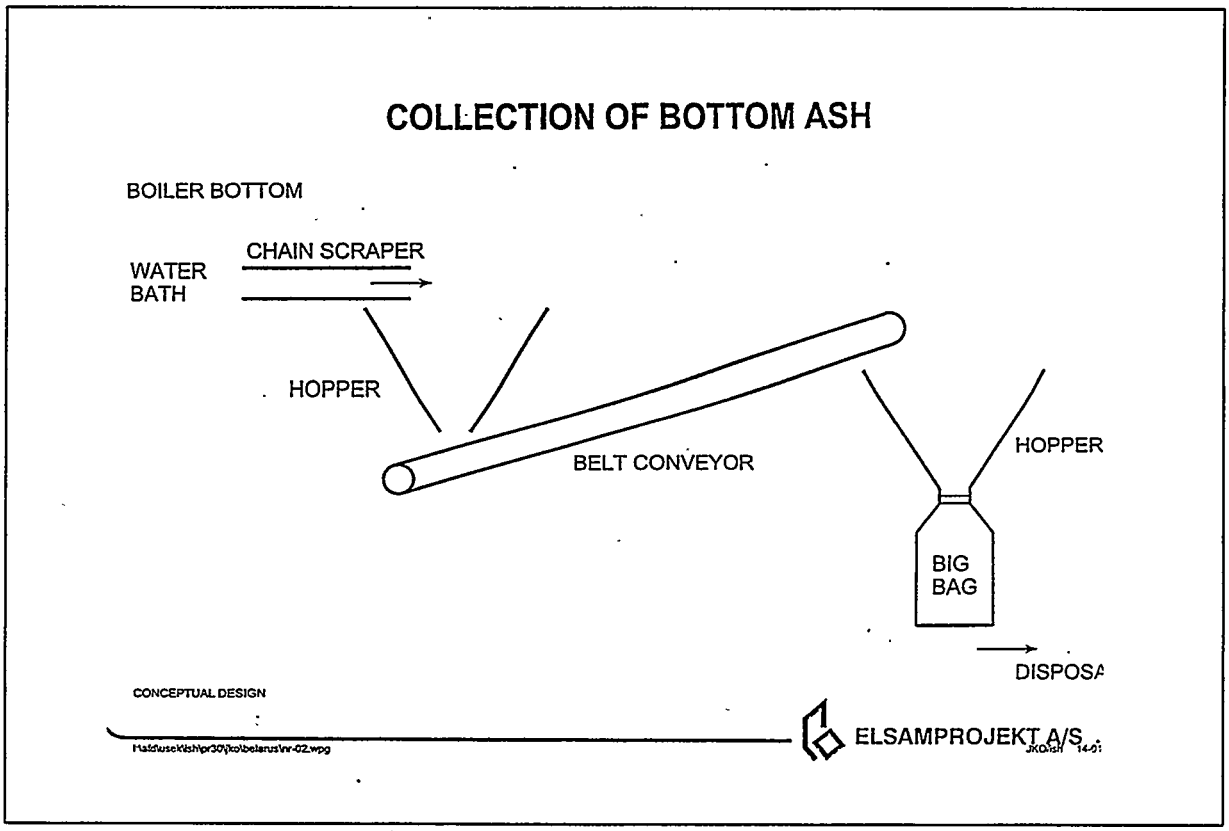


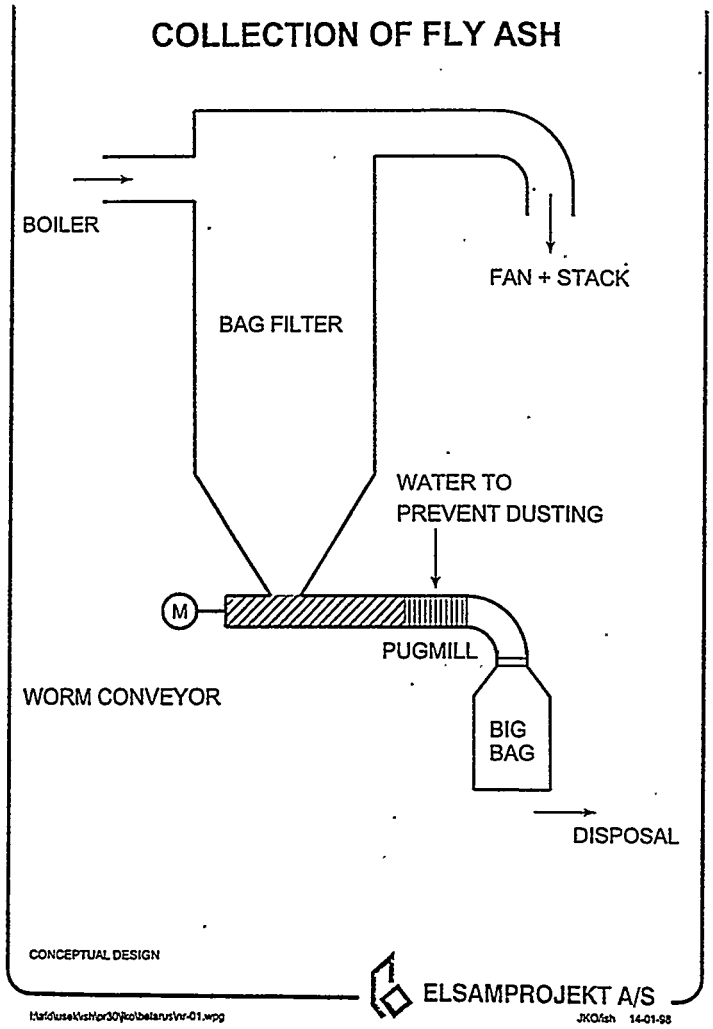
(From Vandergrift)

Filter Bag



ELSAMPROJEKT A/S


COLLECTION OF BOTTOM ASH
BOILER BOTTOM
CHAIN SCRAPER
WATER
BATH
HOPPER
BELT CONVEYOR
HOPPER
BIG
BAG
DISPOSA
CONCEPTUAL DESIGN
ELSAMPROJEKT A/S


COLLECTION OF FLY ASH
BOILER
FAN + STACK
BAG FILTER
WATER TO
PREVENT DUSTING
M
PUGMILL
WORM CONVEYOR
BIG
BAG
DISPOSAL
CONCEPTUAL DESIGN
ELSAMPROJEKT A/S
JKO/sh 14-01-98

Proposal Outline for Demonstration Pilot Project for the Collection, Combustion and Disposal of Contaminated Biomass in the Chornobyl Exclusion Zone

Gerald Elliott
Haywood Anderson
International Applied Engineering, Atlanta, Georgia

ABSTRACT

This discussion will present the present proposed design of a biomass energy system that may safely store, convey, combust, and collect the ash of a mixed (woody and grassy) biomass fuel at the Chornobyl nuclear plant site. The presentation will present the design recommendations required to minimize the carryover of the ash particulate into the flue gas stream and the steps taken to maximize the efficiency of capture for encapsulation and disposal. The discussion will also address the potential for control of fouling and slagging of high alkali biomass materials such as grasses and other new growth. Finally, the presentation will address the potential for cost mitigation and future commercial operations of the pilot plant and larger installations to be built using the data derived from the design, construction, and operation of the pilot plant.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Изложение предлагаемого опытно–экспериментального проекта по сбору, сжиганию и захоронению загрязненной биомассы в Чернобыльской Зоне отчуждения

Джеральд Эллиотт
Хейвуд Андерсон
компания International Applied Engineering, Атланта, штат Джорджия

ВЫДЕРЖКИ

Данное обсуждение представит существующий на сегодняшний день предлагаемый дизайн работающей на энергии биомассы системы, которая может безопасно хранить, транспортировать, сжигать и собирать золу от смешанного (древесного и травяного) биотоплива на месте расположения Чернобыльской атомной электростанции. Доклад представит рекомендации к дизайну, требующиеся для сведения к минимуму переноса зольных частиц в поток топочного газа, и шаги, предпринимаемые для максимальной эффективности улавливания для их капсулирования и захоронения. Во время обсуждения также будет рассмотрена возможность борьбы с образованием осадка и ошлакованием таких высоко щелочных материалов биомассы, как травы и другая молодая поросль. В заключении в докладе будет рассмотрена возможность снижения затрат в будущей коммерческой эксплуатации опытно–экспериментальной станции и более крупных объектов, которые будут выстроены с использованием данных, полученных при разработке, строительстве и эксплуатации опытно–экспериментальной станции.

PROPOSAL OUTLINE

FOR

DEMONSTRATION PILOT PROJECT

FOR THE

COLLECTION, COMBUSTION AND DISPOSAL OF CONTAMINATED BIOMASS

IN THE

CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

PREPARED BY:

INTERNATIONAL APPLIED ENGINEERING, INC.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, Georgia 30067-8951, USA
Tel. (770) 955-8284 Fax. (770) 955-8194

IN COOPERATION WITH

ECOTRADE, INC.
220 S. Kenwood St., Suite 305
Glendale, California 91205-1671, USA
Tel: (818) 240-4500 Fax: (818) 240-4501

FEBRUARY 1998

OUTLINE

A. EXECUTIVE SUMMARY

B. OBJECTIVE

C. BACKGROUND

D. PHASE I - CONCEPTUAL DESIGN OF PILOT PROJECT

1. Establish Program Coordination Committee

   1.1. Comprised of all contributing organizations
   1.2. Coordination to single body
      1.2.1. NIS Institutes
      1.2.2. U.S. National Labs
      1.2.3. Private sector
      1.2.4. Local stakeholders

2. Locate the Pilot Project

   2.1. Establish selection criteria
   2.2. Evaluate the specific candidate sites against the selection criteria
      2.2.1. Geographic and economic information
      2.2.2. Utilities available - power, water, alternate fuel supply, health physics, fire protection, security, transportation, etc.
      2.2.3. Trained personnel available - operations, maintenance, health physics, fire protection, safety, etc.
      2.2.4. Pilot plant support - maintenance shop, health physics program and controls, health physics laboratory, etc.
      2.2.5. Consumer of the energy generated
   2.3. Select a final location for the pilot project

3. Select Optimum Technology Options
   - 3.1. Determine and qualify available proven commercial technologies
     - 3.1.1. Material processing and handling technologies
     - 3.1.2. Long and short term storage technologies
     - 3.1.3. Energy conversion technologies
     - 3.1.4. Pollution control technologies
     - 3.1.5. Guarantee and Warrantee provisions
   - 3.2. Radiation protection and control technologies
   - NOTE: (see next level of detail - Attachment A)
   - 3.3. Determine the potential for local supply and fabrication
   - 3.4. Investigate the potential and requirements for technology transfer
   - 3.5. Establish the options, verification and replication for commercial scale facilities
     - 3.5.1. Base system design
     - 3.5.2. Verification options
     - 3.5.3. Replication options
     - 3.5.4. Guarantees and Warrantees
   - 3.6. Optimize the pilot plant equipment size and value relationships
   - 3.7. Specify minimum performance criteria
   - 3.8. Establish recommended test program

4. Determine Pilot Plant Cost Estimates and Demonstration Project Budget Requirements
   - 4.1. Equipment selection, sizing, and cost
   - NOTE: (see next level of detail - Attachment B).
   - 4.2. Radiological cost considerations
   - NOTE: (see next level of detail - Attachment B).
   - 4.3. Project Management
   - 4.4. Engineering
   - 4.5. Design
   - 4.6. Procurement
   - 4.7. Construction
   - 4.8. Startup
   - 4.9. Operation & Maintenance
   - 4.10. Data Collection and Verification

5. Risk Determination
   - 5.1. Commercial
   - 5.2. Technical

6. Phase I - Report
   - 6.1. Evaluation of Pilot Plant
   - 6.2. Present conclusions on final criteria for the pilot project and demonstration program.
   - 6.3. Conclusions derived from Phase I
   - 6.4. Recommendations and modifications of Phase II and III.

7. Decision to Design Pilot Plant and Proceed with Demonstration Program

E. PHASE II - OPTIMIZATION OF PILOT PROJECT AND DEMONSTRATION PROGRAM

1. Select Demonstration / Project Implementation Team
   - 1.1 Project Management
   - 1.2 Quality Assurance
   - 1.3 Detail Engineering and Design
   - 1.4 Procurement
   - 1.5 Construction
   - 1.6 Startup
   - 1.7 Operation & Maintenance

3. Define Scope of Work and Schedule for Phase III

4. Design Pilot Plant

5. Create Bill of Materials & Specifications

6. Vendor Evaluation and Major Equipment Selection

7. Risk Determination
   - 7.1 Commercial
   - 7.2 Technical

Proposal Outline for Demonstration Pilot Project for the Collection, Combustion and Disposal of Contaminated Biomass in the Chornobyl Exclusion Zone

G. Elliott/H. Anderson

The Fuel Elements—Alternative Environmentally Friendly Sources of Energy

Vladislav Sagalovich
National Academy of Sciences of Ukraine

ABSTRACT

Alternative sources of energy have not had enough visibility. The presentation placed emphasis on fuel cells, especially advanced fuel cells. Also presented a discussion of the ZrO_2-based fuel cell concept, as well as some advanced concepts to suggest that a theoretical efficiency of about 85% could be obtained if fuel cells were combined with heating. Ukraine has a strong R&D potential for fuel cell research and substantial zirconium resources.

СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭНЕРГИЮ

Топливные элементы – альтернативные, не оказывающие неблагоприятного воздействия на окружающую среду источники энергии

Владислав Сагалович
Украинская Государственная Академия Наук

ВЫДЕРЖКИ

Альтернативные источники энергии пока еще не имеют достаточно используются. В докладе сделан упор на топливные элементы, в особенности на передовые топливные элементы. Было также представлено обсуждение принципа основанных на двуокиси циркония (ZrO_2) топливных элементов и некоторых передовых концепций с указанием на то, что теоретически, при комбинации топливных элементов с нагревом, может достигаться коэффициент полезного действия примерно в 85%. Украина располагает серьезным потенциалом в области исследования и разработок для изучения топливных элементов и значительными ресурсами циркония.

Process Complex for Reprocessing and Repository of Radioactive Waste "Vector"

Sergei G. Pichurin
Technocentre, Ukraine

ABSTRACT

The "Vector" facility is intended for decontamination, transport, reprocessing, and final disposition of radwastes from territories contaminated as a result of the accident at the Chornobyl NPP in 1986. This facility was established because of the need to transform radwastes arising as a result of the accident, radwastes from Unit 4 of the Chornobyl NPP, and wastes that might be formed while the Chornobyl NPP is being decommissioned into an ecologically safe, controlled state.

Basic characteristics of the Vector production facility are provided. It is demonstrated that the Vector facility may be used also within the framework of the Ukraine/U.S. project for reclamation and final disposition of wastes of the fuel-energy cycle (salts). In turn, the fuel-energy cycle may be used, in particular, for supplying heat and energy to the Vector facility.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Комплекс технологической обработки «Вектор» для переработки и хранения радиоактивных отходов

Сергей Г. Пичурин
Техноцентр, Украина

ВЫДЕРЖКИ

Комплекс «Вектор» предназначен для дезактивации, транспортировки, переработки и захоронения радиоактивных отходов (РАО) с территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в 1986 году. Его создание обусловлено необходимостью трансформации в экологически безопасное контролируемое состояние РАО, возникших в результате аварии, а также РАО четвертого блока ЧАЭС и отходов, которые будут образовываться при выводе ЧАЭС из эксплуатации.

Приведены основные характеристики комплекса производств «Вектор». Показано, что комплекс «Вектор» может быть использован также в структуре украинско-американского проекта для утилизации и захоронения отходов топливно-энергетического цикла (золы). В свою очередь, топливно-энергетический цикл может быть использован, в частности, для тепло- и электроснабжения комплекса «Вектор».

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Комплекс технологической обработки «Вектор» для переработки и хранения радиоактивных отходов

Сергей Г. Пичурин
Техноцентр, Украина

Комплекс «Вектор» предназначен для дезактивации, транспортировки, переработки и захоронения радиоактивных отходов (РАО) с территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в 1986 году. Его создание обусловлено необходимостью трансформации в экологически безопасное контролируемое состояние РАО, возникших в результате аварии, а также РАО четвертого блока ЧАЭС и отходов, которые будут образовываться при выводе ЧАЭС из эксплуатации.

Первоначальный проект комплекса производств «Вектор» было разработан еще в 1990 году Всесоюзным объединением «Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт комплексных энергетических технологий» (г. Ленинград). В дальнейшем первоначальный план создания этого объекта был пересмотрен. Целесообразность этого решения обусловлена следующими факторами.

- Затопление пунктов временной локализации радиоактивных отходов (ПВЛРО) в районах «Рыжий лес» и «Нефтебаза» привело к усилению вертикальной миграции радионуклидов в направлении водоносных горизонтов и, как следствие, создало угрозу загрязнения бассейна р.Днепр. Возникла острая необходимость перезахоронения РАО локализованных в поставарийный период в этих ПВЛРО.

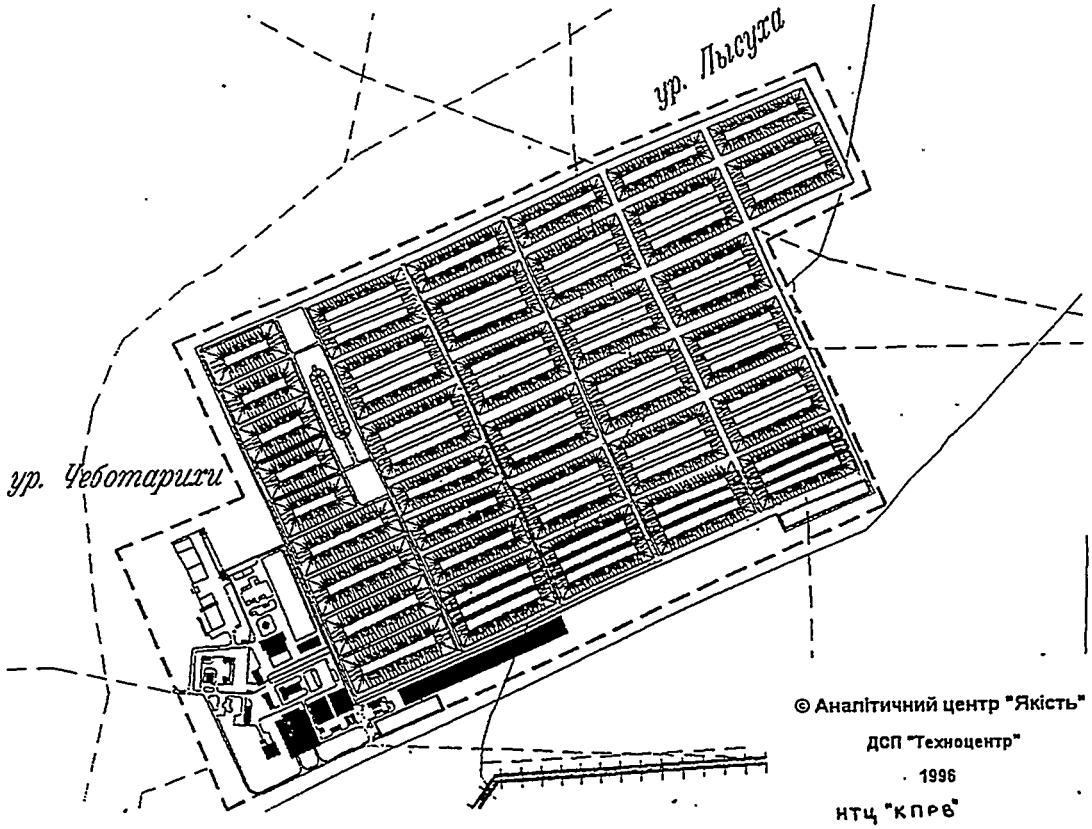
- Единственным действующим в настоящий момент пунктом захоронения РАО в Зоне отчуждения является хранилище «Буряковка», предназначенное по проекту для захоронения 450000 м^3 РАО. В настоящий момент там уже захоронено 360000 м^3 и окончательно возможности этого хранилища будут исчерпаны в ближайшие 3 года.

- Проведение работ на объекте «Укрытие» лимитируется отсутствием хранилищ для РАО и топливо-содержащих материалов (ТСМ), которые будут образовываться при стабилизации объекта и повышении его экологической безопасности.

По этим причинам в 1996 году в составе проекта была выделена первая очередь комплекса «Вектор» (Этап 1. Захоронение радиоактивных отходов). В 1997 году проект первой очереди комплекса «Вектор» был утвержден приказом Министра Министерства чрезвычайных ситуаций Украины. Проект предусматривает строительство в течение 2 лет хранилищ двух типов для захоронения низко- и среднеактивных РАО общим объемом 19800 м^3 и наращивание в дальнейшем мощности комплекса до проектной. В 1998 году начаты работы по строительству первой очереди комплекса «Вектор».

Комплекс «Вектор» будет располагаться в урочище Чеботарихи на расстоянии 10 км от р. Припять и 9 км от р. Уж. В этом месте грунтовые воды находятся на глубине 10.9-24 м. Амплитуда сезонных колебаний грунтовых вод не превышает 1.5 м. Расстояние до объекта «Укрытие» составляет 12.7 км. Выбор места строительства первой очереди комплекса «Вектор» производился на основании анализа природно-климатических и социально-экономических факторов в соответствии с действующими требованиями и рекомендациями нормативных документов регламентирующих органов.

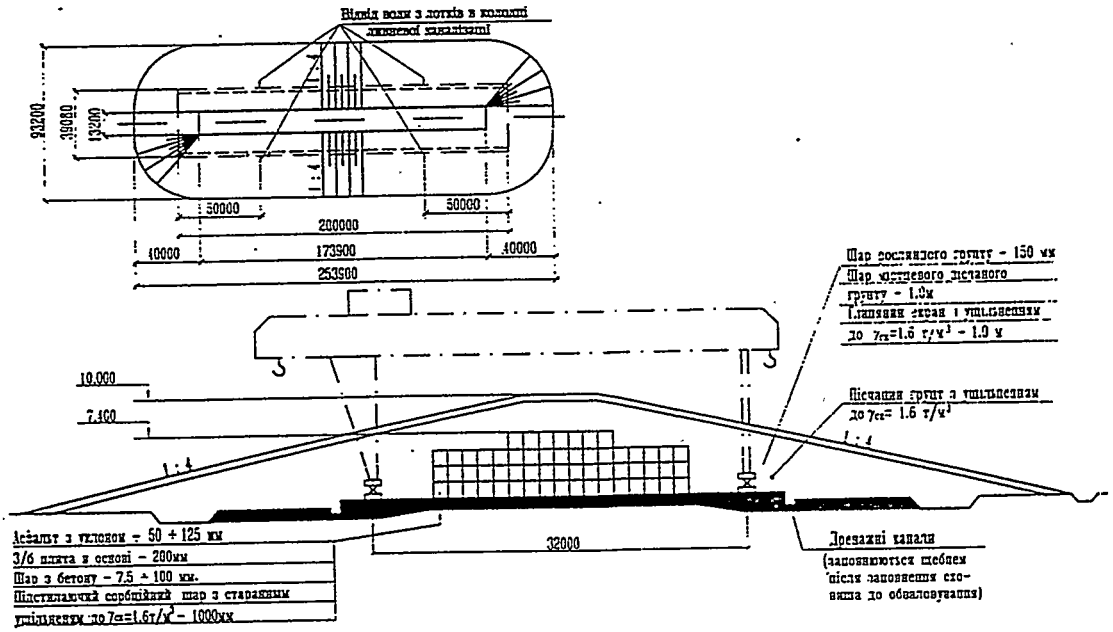
Генеральный план и основные технические характеристики первой очереди комплекса «Вектор»



Площадь объекта	**1600000 м^2**
Общий объем для хранения РАО	**533644.8 м^3**
в том числе:	
Хранилище 1-го типа	**16x9802.8=156844.8 м^3**
Хранилище 2-го типа	**40x9420.0=376800.0 м^3**
Капитальные вложения	**540.6 млн. Гривен**
в том числе пусковой комплекс	**147.4 млн. Гривен**
Численность персонала	**348 человек**
Продолжительность строительства	**5 лет**
в том числе пускового комплекса	**2 года**
Стоимость хранилища 1-го типа	**8.0 млн. Гривен**
Стоимость хранилища 2-го типа	**6.1 млн. Гривен**
Потребность в электроэнергии	**14.7 млн. кВт часов/год**
в теплоснабжении	**16.8 тыс Гдж/ год**

Площадка комплекса «Вектор» условно разделена на две зоны. В первой из них расположены административно-бытовой комплекс, вспомогательные здания и сооружения. Во второй зоне располагаются собственно хранилища РАО, комплекс для дезактивации и отстоя техники, здания для подготовки контейнеров с РАО к захоронению. На площадке комплекса «Вектор» предполагается разместить 16 хранилищ твердых РАО (ТРО) 1-го типа и 40 хранилищ ТРО 2-го типа.

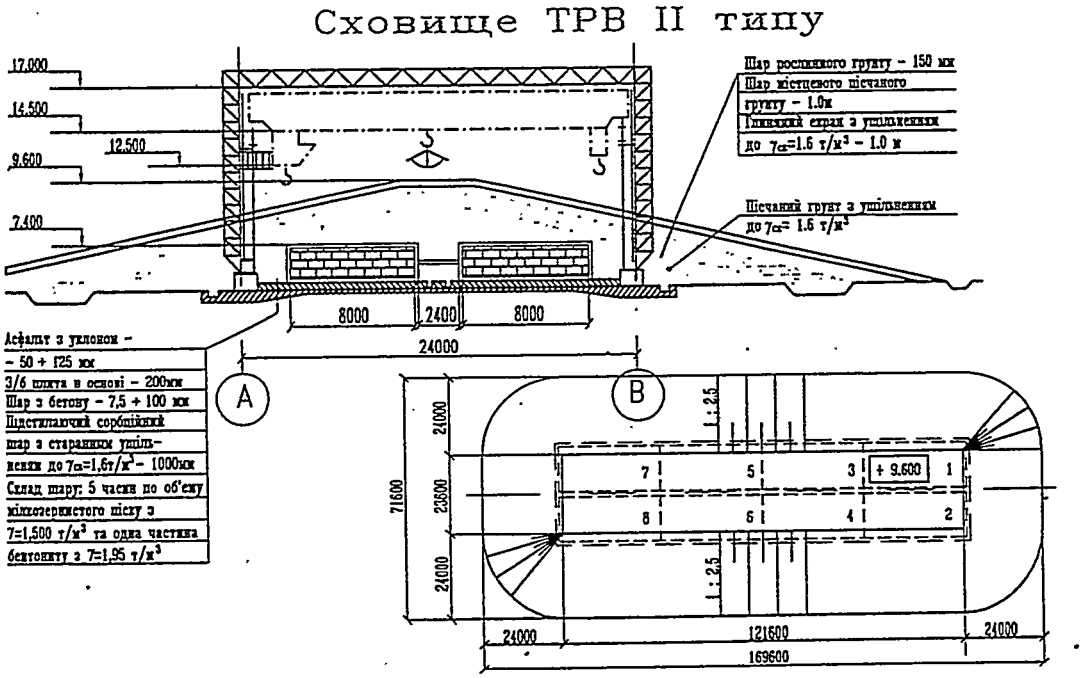
Хранилище 1-го типа представляет собой наземный могильник курганного типа и предназначено для захоронения РАО, поступающих в железобетонных контейнерах емкостью 2.1 м^3. Каждое хранилище (39x200 м^2) рассчитано на 4668 контейнеров. Хранилище представляет собой гидроизолированную площадку, по краям которой предусмотрены каналы для отвода воды. Конструкция покрытия площадки - монолитная железобетонная плита с поперечными швами, лежащая на слое сорбента (песок + бентонитовая глина). Толщина слоя сорбента 1000 мм. Поверхность плиты покрыта асфальтом и имеет уклон для стока атмосферных осадков. Контейнеры располагаются в четыре яруса. После заполнения хранилища контейнерами локализация РАО производится засыпка контейнеров грунтом, затем слоем глины толщиной до 1 м. На поверхность глины укладывается слой дерна толщиной не менее 0.15 м. Слои дерна, глины и почвы создают гидроизоляционный экран, препятствующий проникновению атмосферных осадков внутрь хранилища.



Хранилище 2-го типа также представляет собой наземный могильник и предназначено для захоронения РАО в первоначальной упаковке или россыпью. Одно хранилище (38x120 м^2) рассчитано на захоронение 9420 м^3 РАО с коэффициентом заполнения объема хранилища 90%. Всего в хранилищах 2-го типа предполагается захоронить 378800 м^3 РАО. Хранилище представляет собой 4 модуля различных размеров из монолитного железобетона с толщиной стен и перекрытий по 0.5 м и толщиной днища 0.8 м. Каждый из модулей состоит из двух ячеек, между которыми располагается обслуживаемый дренажный тоннель. Из каждого модуля в канал выводится дренажная труба для отвода из модуля конденсирующейся влаги. Перед заполнением модулей над всем хранилищем сооружается временное здание. После полного заполнения модулей они закрываются монолитными железобетонными плитами, на которые укладывается гидроизолирующий экран. По заполнении всего хранилища осуществляется разборка временного здания и консервация хранилища путем укладки трехслойного гидроизоляционного экрана, аналогичного применяемому для концервации хранилищ 1-го типа.

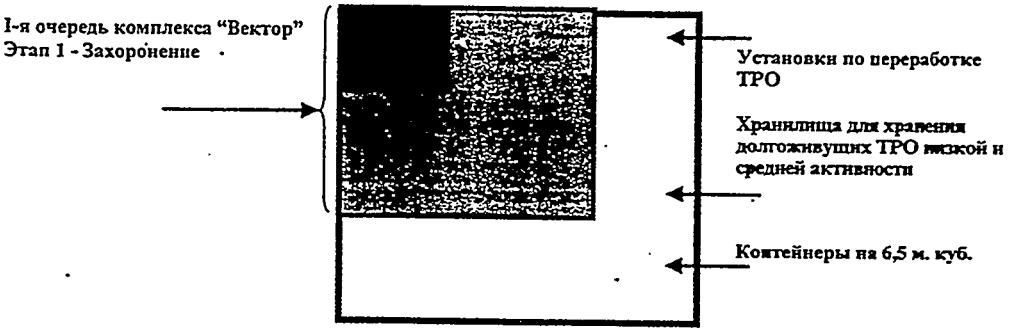
На захоронение в хранилищах будут приниматься твердые, неорганические и невоспламеняемые РАО образовавшиеся в результете Чернобыльской катастрофы 1986 года, находящиеся в структурно и химически стабильной форме:

- с удельной β-активностью до 0.001 Ки/кг;
- с уровнем поверхностного β-загрязнения до $5*10^5$ част/(см^2*мин);
- с уровнем поверхностного α-загрязнения до $1*10^4$ част/см^2*мин).



Ввод в эксплуатацию первой очереди комплекса «Вектор» позволит решить актуальные задачи Зоны отчуждения по перезахоронению РАО из ПВЛРО и обеспечению проведения работ на объекте «Укрытие». В то же время первая очередь комплекса «Вектор» обеспечит создание на его базе Национального центра по переработке и захоронению РАО.

Развитие I очереди комплекса Вектор ,создание на его базе Центра по переработке и захоронению радиоактивных отходов .



Объекты инженерного и санитарно-бытового обеспечения 1 очереди комплекса «Вектор» позволят обеспечить функционирование всего Центра по переработке и захоронению РАО:

- установок по переработке РАО;
- хранилищ для долгоживущих ТРО низкой и средней активности, а при необходимости и РАО с высокой активностью.

В настоящее время проводится технико-экономический анализ общения с РАО высокой активности в структуре Центра по переработке и захоронению РАО, создаваемого на базе комплекса производств «Вектор».

Анализ ресурсов РАО в Зоне отчуждения показывает, что значительная часть их представляет горючие вещества. К таким веществам относится и древесная и листостебельная биомасса растений, произрастающих на загрязненных территориях Зоны отчуждения. Наиболее эффективным способом компактирования этой биомассы и горючих техногенных РАО ,как известно, является их сжигание с получением золы. При этом объем РАО уменьшается в 30-40 раз. Сжигание таких РАО позволит существенно уменьшить их объем и более эффективно использовать хранилища 1 очереди комплекса «Вектор».

Комплекс технологической обработки «Вектор» для переработки и хранения радиоактивных отходов

Годовая продуктивность ЗОНЫ отчуждения по РАО

Разновидность РАО	Количество, $м^3$/год	Коэффициент компактирования	Количество на захоронение, $м^3$/год
Горючие техногенные РАО, растительная биомасса	65000	32:1	2000
Негорючие техногенные РАО	23800	4:1	6000
Отходы дезактивации, РАО (без переработки) → « ВЕКТОР»	6600	1:1	6600
Отходы дезактивации, РАО (с переработкой) → «ЦЕНТР ПЕРЕРАБОТКИ»	88800		8000

В связи с этим для реализации концепции обращения с РАО в Зоне отчуждения особое значение приобретает обсуждаемый украинско-американский проект, предполагающий утилизацию растительной биомассы растений-деконтаминантов, загрязненной древесной биомассы путем сжигания в топливно-энергетическом цикле с получением электрической и тепловой энергии. Интерес к этому проекту обусловлен не только тем, что предлагаемые технологии позволяют в десятки раз уменьшить объемы РАО перед их захоронением, но также позволяет решить задачу замещения мощностей по тепловой и электрической энергии, необходимых для функционирования комплекса «Вектор».

В структуре этого проекта 1 очередь комплекса производств по переработке и захоронению РАО «Вектор» представляется , с одной стороны, как потребитель получаемой тепловой и электрической энергии, а с другой - как заключительное звено технологического топливно-энергетического цикла, решающего проблему захоронения конечного продукта (золы после сжигания растительной биомассы).

Volume Reduction and Thermoplastic Encapsulation of Chornobyl Contaminated Ash from the Republic of Belarus

Paul Kalb
Brookhaven National Laboratory, Brookhaven, New York

A.J. Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

ABSTRACT

The Chornobyl nuclear accident resulted in widespread radiological contamination in the former Soviet Republic of Belarus. About 20% of the forest area has been affected, leaving a significant and lasting impact on the major source of residential heat and cooking fuel for many rural residents. Despite efforts by the Belarus government to control exposure to contamination from the Chornobyl accident, the burning of contaminated wood for cooking and heating in rural Belarus is commonplace. Burning of wood with even relatively low levels of radioactivity results in the concentration of contaminants in the hearth ash by factors as high as 70 times and generates large volumes of ash that must be treated as low-level radioactive waste (^{137}Cs levels $\geq$ 9.6 kBq/kg). Uncontrolled disposal of up to an estimated 20,000 tons/yr of contaminated ash can lead to increased radiologic exposures due to direct inhalation and ingestion and indirect pathways such as contaminated gardens and drinking water supplies. More than 100,000 tons of ash with an activity up to 50 kBq/kg and higher have already been accumulated and dispersed since 1986. The safe collection, treatment, and disposal of contaminated hearth ash is therefore a serious health issue in Belarus. The planned conversion of contaminated biomass for power and heat production will greatly increase the generation of radioactive ash requiring treatment.

In a program sponsored by the U.S. Department of Energy Initiatives for Proliferation Prevention (DOE IPP), Brookhaven National Laboratory (BNL) is collaborating with the Institute of Power Engineering Problems (IPEP)/Academy of Science in Minsk to evaluate the feasibility of reducing the volume of radioactively contaminated ash and the use of thermoplastic encapsulation technologies to stabilize contaminated ash. IPEP evaluated the magnitude of the problem by assessing the activity levels and distribution of contaminated wood, provided ash characterization data, collected representative samples for shipment to BNL, explored volume reduction options, and investigated the feasibility of implementing ash-encapsulation technologies in Belarus. BNL conducted bench-scale feasibility and performance testing using two thermoplastic encapsulation technologies, sulfur polymer cement and low-density polyethylene, and conducted preliminary scale-up feasibility testing.

Acid washing of incinerator ash operated under optimal conditions can remove about 75% of the radioactive contamination. However, this technique results in a highly acidic secondary waste stream with higher levels of radioactivity and requires further treatment, e.g., neutralization and stabilization/solidification. A life cycle cost evaluation that considers all operations, including collection, handling, processing, transportation, and disposal, is required to determine whether treatment to reduce the volume of ash before disposal is cost-effective.

Actual radioactive-contaminated hearth ash was collected from the contaminated zone in Belarus by IPEP. Following characterization, the ash was shipped to BNL for bench-scale treatability and waste-form performance evaluation testing using the sulfur polymer encapsulation process. Belarus hearth ash was successfully encapsulated at waste loadings of 40 and 50 wt% without reaching maximum processing limits. A pilot-scale feasibility test in conjunction with Scientific Ecology Group was successfully completed to establish process viability. Similarly, biomass conversion ash was encapsulated at waste loadings up to 70 wt% in low-density polyethylene, using a kinetic mixing process. Preliminary scale-up testing demonstrated that using a production-scale mixer established the initial feasibility of the process, confirmed the successful use of recycled polymer resins, and demonstrated the potential for the production of useful by-products that may result from applying this technology.

Technology and materials currently exist in Belarus for thermoplastic encapsulation of ash wastes. Specific legal standards for treatment and disposal of Chornobyl wastes are changing, but are not expected to provide obstacles for possible implementation of these technologies. BNL and IPEP have established private-sector interest in pursuing commercialization of thermoplastic encapsulation of contaminated ash in Belarus. An IPP Thrust II proposal to demonstrate commercial viability is being prepared.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Снижение объема и термопластическое капсулирование Чернобыльской загрязненной золы из Республики Беларусь

Пол Калб
Брукхейвенская Национальная Лаборатория, Брукхейвен, штат Нью-Йорк

А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

ВЫДЕРЖКИ

Чернобыльская ядерная авария привела к обширному радиационному загрязнению в бывшей Советской Республике Белоруссии. Пораженными оказались примерно 20% лесных площадей, что сильно и надолго повлияло на основной источник обогрева жилищ и топлива для приготовления пищи для множества сельских жителей. Несмотря на усилия Белорусского правительства по борьбе с воздействием загрязнений от Чернобыльской аварии, сжигание загрязненной древесины для приготовления пищи и обогрева в сельских районах Беларуси является нормой. Сжигание древесины, имеющей даже невысокий уровень радиоактивности, приводит к тому, что в печной золе появляются загрязняющие вещества с концентрацией, которая превышает исходную концентрацию почти в 70 раз, а также накапливаются большие количества золы, обращаться с которой необходимо как с низко радиоактивными отходами (с уровнями $^{137}Cs \geq 9{,}6$ кБк/кг). Неконтролируемое захоронение ориентировочно до 20.000 тонн/год загрязненной золы может привести к повышению радиационного облучения в результате прямого попадания в дыхательную и пищеварительную системы, а также и косвенными путями, такими как через загрязненные сады и источники питьевой воды. С 1986 года уже было аккумулировано и рассеяно свыше 100.000 тонн золы с радиоактивностью до 50 кБк/кг и выше. Поэтому безопасный сбор, обработка и захоронение загрязненной печной золы представляет собой в Беларуси серьезную проблему охраны здоровья. Планируемое преобразование загрязненной биомассы для выработки электрической и тепловой энергии существенным образом повысит количество создаваемой радиоактивной золы, нуждающейся в обработке.

По программе, финансируемой Инициативами по предотвращению распространения Министерства Энергетики США, Брукхейвенская Национальная Лаборатория ведет совместную работу с Институтом Энергетических Проблем Академии Наук в Минске с целью проведения оценки осуществимости снижения объема радиоактивно загрязненной золы и применения технологий термопластического капсулирования для стабилизации загрязненной золы. Институт Энергетических Проблем изучил проблему путем оценки уровней радиоактивности и распределения загрязненной древесины, предоставил данные по свойствам золы, собрал образцы для отправки в Брукхейвенскую Национальную Лабораторию, рассмотрел варианты снижения объема и исследовал осуществимость реализации технологий капсулирования золы в Беларуси. Брукхейвенская Национальная Лаборатория провела лабораторные испытания на масштабной модели осуществимости и рабочих характеристик с использованием двух технологий термопластического капсулирования, серосодержащим полимерным цементом и полиэтиленом низкой

плотности, и осуществила предварительные масштабные испытания.

Кислотное промывание золы, образующейся в сжигающем устройстве, работающем в оптимальных условиях, может удалять примерно 75% радиоактивного загрязнения. Однако такая техника приводит к образованию потока вторичных отходов высокой кислотности с высоким уровнем радиоактивности и требующих дальнейшей обработки, т.е. нейтрализации и стабилизации / кристаллизации. Для определения того, будет ли обработка с целью уменьшения объема перед захоронением эффективной по стоимости, необходимо проведение оценки стоимости на срок полезной эксплуатации, принимающей во внимание все операции, включая сбор отходов, обращение с ними, обработку, транспортировку и захоронение.

Институт Энергетических Проблем провел сбор подлинной (действительно) радиоактивно загрязненной печной золы из загрязненной зоны в Беларуси. Вслед за определением ее свойств, зола была отправлена в Брукхейвенскую Национальную Лабораторию для лабораторных испытаний на масштабной модели возможности ее обработки и результатов формовки с использованием процесса капсулирования серосодержащим полимером. Печная зола из Беларуси была успешно капсулирована с показателем 40 и 50 wt% без достижения максимальных пределов переработки. Для определения жизнеспособности процесса совместно с организацией Scientific Ecology Group было успешно проведено опытно–экспериментальное испытание возможности осуществления процесса. Таким же образом было проведено капсулирование в полиэтилен низкой плотности той золы; которая образуется в результате преобразования биомассы с показателем до 70 wt% с использованием кинетического процесса смешивания. Предварительные масштабные испытания показали, что применение производственного размера смешивающего устройства создало исходные предпосылки для осуществления процесса, подтвердили успешность использования полученного в результате вторичной переработки полимера и продемонстрировали потенциал выработки полезных побочных продуктов, которые могут быть получены в результате применения такой технологии.

В Беларуси в настоящее время существуют технология и материалы для термопластического капсулирования зольных отходов. Происходит изменение конкретных правовых стандартов по переработке и захоронению Чернобыльских отходов, однако ожидается, что они не представят препятствий для возможной реализации этих технологий. Брукхейвенская Национальная Лаборатория и Институт Энергетических Проблем проявили заинтересованность в участии частного сектора, который мог бы заняться коммерциализацией термопластического капсулирования загрязненной золы в Беларуси. Для демонстрации коммерческой жизнеспособности готовится предложение по Инициативам по предотвращению распространения - Доверие II (Thrust II).

Volume Reduction and Thermoplastic Encapsulation of Chornobyl Contaminated Ash From the Republic of Belarus

Paul D. Kalb

Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop

February 23-25, 1998

Environmental & Waste Technology Center
Brookhaven National Laboratory

Project Description

- Sponsored through DOE Initiatives for Proliferation Prevention (IPP) as a Thrust 1 Activity
- Collaboration between:
  - Brookhaven National Laboratory (US)
  - Institute of Power Engineering Problems (Belarus)
- Objective: Investigate thermoplastic processes for treatment of ash products generated as a result of burning contaminated biomass in Belarus

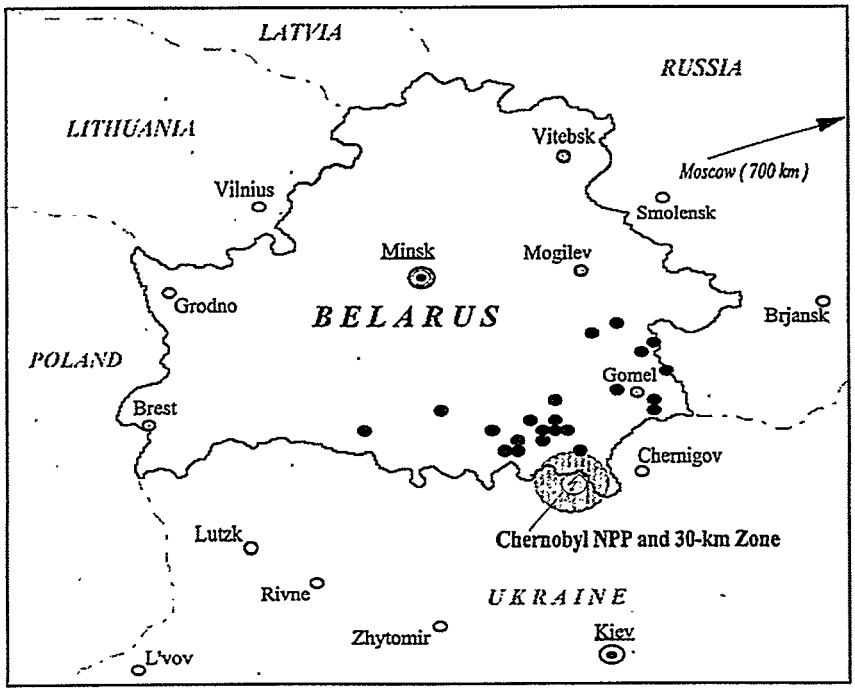
Background

- Chornobyl fallout resulted in 20,000 km^2 with activity levels > 5 Ci/km^2; 20% of Belarus forested area; >3,000 towns and villages located within contaminated zone
- Contaminated wood is still used routinely for domestic heat and cooking fuel:
  - 6.5 ton/household/yr consumed for heat
  - 1.5 ton/household/yr consumed for cooking
  - 550,000 ton/yr total consumption in contaminated zone
- > 180,000 tons of contaminated hearth ash accumulated since 1986
- Radioactivity is concentrated in ash by a factor of up to 70X

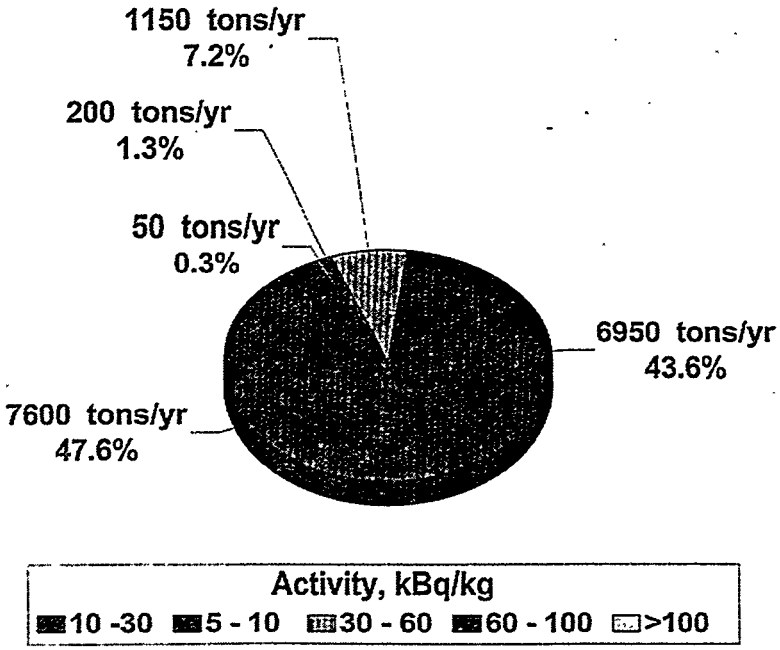
Ash Collection/Characterization

- Actual ash samples collected from 180 households, 22 settlements in contaminated zone within Gomel and Mogilev Provinces
- Four drums (total of 356 kg) of contaminated hearth ash shipped to U.S. for treatability studies
- Cs-137 specific activity of hearth ash:
  - 72% Low Level Radioactive Waste (>9.6 kBq/kg)
  - 28% Conventional Radioactive Waste (0.96-9.6 kBq/kg)
- Both actual hearth ash and surrogate biomass conversion ash used for BNL treatability studies

Sampling Locations for Contaminated Hearth Ash



Annual Production of Contaminated Ash in Belarus



Ash Decontamination by Acid Washing

- IPEP conducted study on feasibility of acid washing to reduce contaminated ash volume
- Several leaching solutions used (H_20, KCl, HNO_3, H_2SO_4, HCl, and HF)
- Solution strength, temperature and leaching time varied
- Stronger acids more effective in removing Cs-137, but none were able to completely decontaminate ash to non-radioactive levels

Polyethylene Microencapsulation of Ash

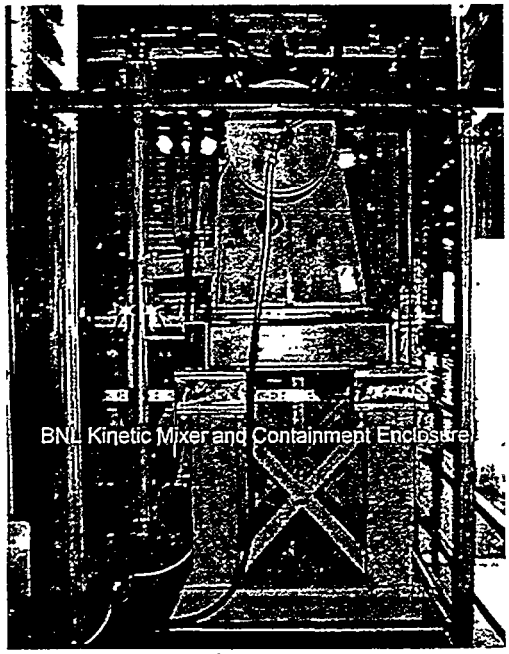
- Compared with conventional cement grout, polyethylene is inert, durable, allows high waste loadings, and has superior performance (e.g., leaching)
- Recycled waste plastics can be substituted for virgin feed stock to lower cost, reduce municipal waste burden
- Polyethylene can be processed by:
  - extrusion: thermal and frictional heat to melt plastic
  - kinetic mixing: frictional heat only
- Kinetic mixing used for this study

Kinetic Mixing

- Bench-scale feasibility established with biomass conversion ash loadings up to 70 wt% (higher loadings possible with parameter optimization)
- Average batch process time:
  - 28.6 sec for 50 wt% ash
  - 32.8 sec for 70 wt% ash
- Scale-up feasibility confirmed by processing 34kg ash using a 40 liter kinetic mixer (1800 kg/hr)

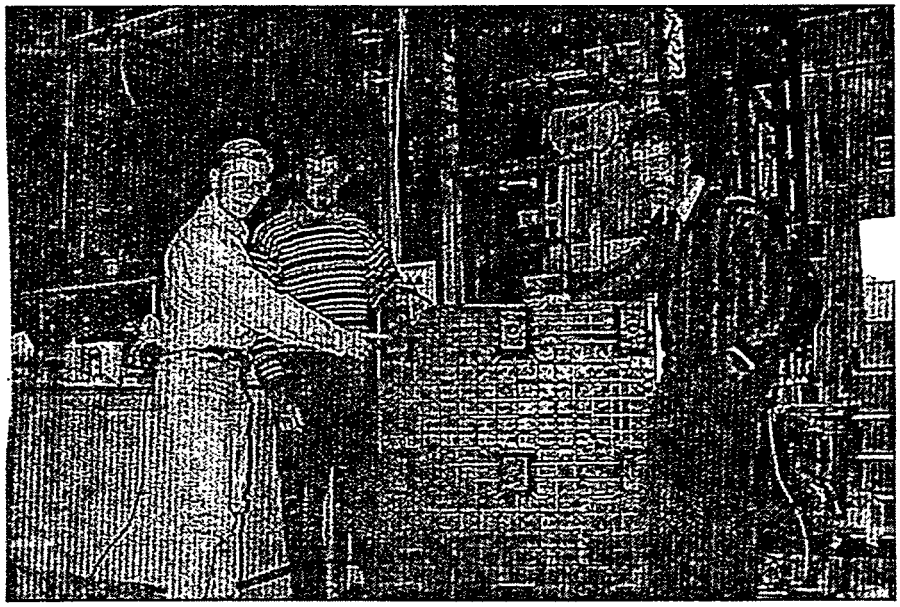
Useful secondary products (pallets) produced from mixture of 25% biomass conversion ash and 75% recycled plastic

Kinetic Mixer Installed at BNL



BNL Kinetic Mixer and Containment Enclosure

Plastic Pallet Produced from Biomass Conversion Ash and Recycled Polyethylene



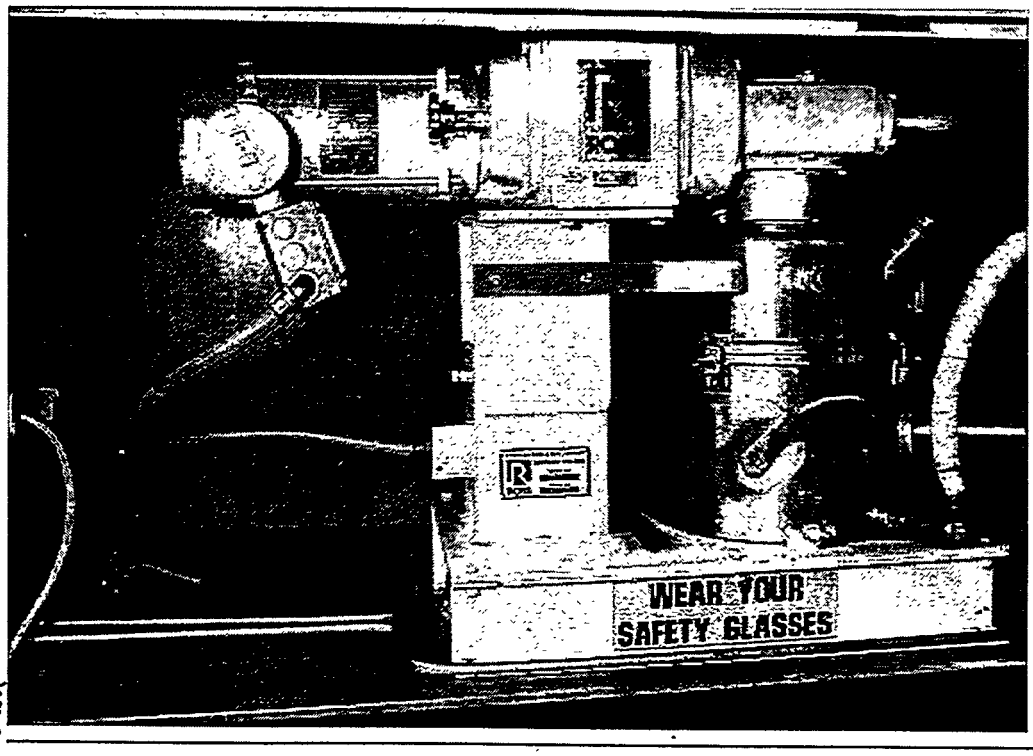
Sulfur Polymer Microencapsulation of Ash

- Sulfur polymer cement (SPC), inorganic thermoplastic developed by U.S. Bureau of Mines to utilize by-product sulfur
- 95 wt% elemental sulfur; 5 wt% organic modifier
- Adapted by BNL for the treatment of radioactive, hazardous, and mixed wastes
- Low viscosity thermoplastic; easily processed in simple heated mixer

SPC Processing

- Bench-scale processing (500 - 1500 g per batch) processed in 1 liter mixing vessel
- Process temperatures 125 - 135°C
- Formulations successfully prepared containing 40 and 50 wt% actual Belarus hearth ash
- Scale-up feasibility confirmed in conjunction with Scientific Ecology Group (currently GTS Duratek) using a 1325 liter mixing vessel
  - >300 kg ash processed with SPC
  - 39 wt% hearth ash loading

Bench-scale Heated Mixer for Processing SPC



Waste Form Performance Testing

Waste Form	Compressive Strength
40 wt% hearth ash/ 60 wt% SPC	44.3 MPa
50 wt% hearth ash/50 wt%SPC	33.9 MPa
50 wt% biomass ash/Polyethylene	25.9 MPa
70 wt% biomass ash/Polyethylene	23.0 MPa

- Leaching of SPC waste forms conducted using Accelerated Leach Test (ASTM C1308)
- Cs-137 below MDL in leachates, indicating < 0.79% leached

Implementation Feasibility

- IPEP conducted investigation of implementation feasibility including regulatory issues, availability of materials and market potential
  - Chornobyl LLW to be regulated under new legislation before Council of Ministers
  - Belarus has ample supplies of domestic thermoplastic polymers
  - Secondary products can be produced for construction if Cs-137 activity ≤ 0.375 kBq/kg

Summary and Conclusions

- Thermoplastic polymers can be used to successfully encapsulate Chornobyl contaminated hearth ash and biomass conversion ash
- Ash waste loadings of 70 wt% for polyethylene and 50 wt% for SPC have been achieved, but process optimization may lead to better efficiencies
- Final waste form properties exceed US standards for LLW disposal and should easily meet Belarus standards being developed
- Scale-up feasibility has been established

Fate of Cs and Sr in Commercial Biomass Combustion Systems

Larry Baxter
Sandia National Laboratory, Livermore, California

ABSTRACT

About 30% of the land in Belarus is contaminated. This affects the economical situation of the whole country. A decontamination and economical growth of this part of the country will have an impact on the economy of the whole country. This investigation into harvesting and fuel preparation is designed to describe 1) methods for harvesting the standing biomass and forest floor, 2) replanting methods and principles after the harvest, and 3) ways to maintain the biodiversity of the forests. A report will be provided to describe the above-mentioned items.

The scope of the project is two-fold: clean up of the radionuclides in the forests and power production on the basis of domestic fuels. As additional benefits, which will give an impetus to the economy of Belarus, the project will improve employment in the region, it will be a vehicle for improving the infrastructure (roads, logistics in the forest harvesting, improved forest health), and it will encourage valorisation of the forest products in the contaminated region.

Parts of the forests can be heavily thinned. The humus layer will be removed, and the land will left for the next 30 years for the radioactivity to subside by natural causes. These are typically young stands without defects from other causes like storm, snow or insect damage. Other parts should be clear cut, the humus layer should be removed, and the forests should replanted. In all cases, the remediation work should be carried out in relatively small blocks in a checkerboard fashion to allow biodiversity to re-establish from the untouched forests around the remedied areas.

A relatively large power plant requires a continuous fuel supply. Most of the equipment for harvesting the wood exists today and very little development work is needed. However, the equipment needed to remove the humus layer is only in the prototype stage at best. Considerable efforts must be invested to develop the machinery for this operation, both for use in the thinning stands and for use on the clear cut. Also, the infrastructure (roads, transport facilities, etc.) must be available, and the logistics for moving such large amounts of humus and wood must be in order. A training and education program may be needed to build up the whole logistic chain of supplying wood for energy to the power plant.

A careful method of blocks and strips should be devised to maintain most of the biodiversity in the remediated areas. If these blocks are surrounded on all sides by older forest, plants, animals, insects, and whatever will be able to colonise the area where the humus layer has been removed. Various problems need to be worked out for this to work satisfactorily.

Fireside Cs and Sr behaviour are being studied to 1) determine how radioisotopes are partitioned in various ash streams and how they are impacted by operational and design parameters, 2) evaluate means of maximising the fraction of radionuclide retained in the ash, 3) determine the size distribution and other important characteristics of the radionuclide-bearing ash particles. Pilot- and commercial-scale data detailing the likely amounts and properties of radionuclides in the various ash streams from the combustor will be provided.

Commercial-scale testing is complete using stable isotopes of Cs and Sr as surrogates for radionuclides. Many pilot-scale tests with non-contaminated or mildly contaminated fuels have been completed to determine the amount and size distribution of the radionuclide-bearing ash particles. We believe a system designed to optimise particulate collection will remove radionuclides sufficiently. Commercially available filters capable of high collection efficiencies are available in the West, and a source of material reported to have similar collection efficiency has been located in Russia.

The primary concern is that radionuclide-containing compounds will be contained in submicron condensate aerosols. People can inhale these aerosols, which are difficult to collect in conventional particle cleanup systems. Commercially available devices are available that will remove this fine aerosol with high efficiency, but the combustor being designed for this application is intended to prevent these vapors from forming, making the particle cleanup system a secondary protection. Commercial tests for this system were conducted in a 20 MW_e furnace that was part of Wheelabrator's 50 MW_e biomass power station in Anderson, California, in the United States. The tests were hosted by Wheelabrator, supervised by Sandia, and witnessed by Belarusian scientists and engineers among others. Overall particle-collection efficiencies were determined to be above 99.9% for both Cs and Sr.

Most of the work in the United States is now complete in this area. Facilities are being designed for commercial- and pilot-scale investigations with contaminated fuels in the FSU. These investigations will be similar to those conducted in the United States, but will be under more realistic conditions. They are scheduled to be completed this summer.

The design of the boiler and power plant systems is being investigated to 1) determine the best conceptual design for a power plant system using contaminated biomass as a fuel, 2) design pilot-scale and commercial-scale systems appropriate for construction and operation in the FSU based on this conceptual design, and 3) determine the availability of critical components and materials for long-term operation of such systems. Conceptual and preliminary engineering designs of commercial systems and detailed designs of pilot systems for use in this project will be provided.

It was decided to use well proven and reliable commercially available components to the widest possible extent in designing power plants for combustion of radioactive contaminated wood and forest litter. The design will focus on producing the most robust, forgiving system consistent with the best design practices. The siting of both the demonstration plant and future commercial plants is still an issue to be dealt with in the project, but it has been recommended to construct a Cogeneration Power Plant at Svetlogorsk. The boiler design is a 100 t/h (~23 MW_e) grate-fired boiler using membrane wall technology for the combustion chamber. The boiler type chosen is a proven and robust technology that can be manufactured and operated in FSU.

On the basis of the analyses of the plant design for power production from radioactive-contaminated wood and forest litter, it can be concluded that if the plant is designed carefully, we should be able to address all the hazards for combustion of radioactive-contaminated fuels. The preliminary conceptual commercial design is completed for the suggested siting at the Svetlogorsk Cogeneration Power Plant. Preliminary engineering designs are underway.

Testings at a filter pilot plant and a combustion power plant are planned, and the plants are being designed. Planning calls for having test results very soon. The filter pilot plant will be a portable system intended to measure filter performance. Testings in the filter pilot plant are expected to take place at the RechitzaDrev Joint Stock Sawmill. The combustion pilot plant is being built to perform dedicated testings to optimise the combustion conditions for low vaporisation of Cs from the bottom ash. The pilot plant is expected to be built at IPEP in Sosny, Belarus.

The ash disposal investigation will develop acceptable means for disposing of radionuclide-contaminated ash generated from the combustion of Chornobyl-contaminated biomass. The ash disposal system is to meet all applicable rules and regulations and be simple and inexpensive to operate. The design of the ash disposal sites will follow the IAEA principles for intervention.

The most practical solution would be to place the disposal site next to the power plant as this would result in the least transport costs and facilitate supervision of the disposal site. A way of disposing of the waste generated would be to first load the ash into big bags made of polypropylene, capable of holding 1.7 m^3. The bags would then be taken by truck to the nearby disposal site. The big bags would be placed on top of the clay and covered by a protective plastic liner. The liner could be a low-density polyethylene (LDPE) membrane, 1 mm thick. This plastic sheet would greatly limit the downward migration of any waste substances, as it protects against rainwater.

The project collaborates with authorities in Belarus on the approval of disposal type. Future activities on ash disposal will include testing the leaching of Cs and Sr from the ash generated when burning radionuclide contaminated wood and forest litter.

The economic and systems investigations are 1) investigating the role that biomass energy production may play in the national and regional energy structures and 2) determining the economics of various thermal energy systems. Projected costs and rates of return for various energy systems and analyses of the impact of such systems on the overall energy structure will be provided.

The republic of Belarus is low in domestic energy resources and therefore has to rely to a very high extent on imported energy, either in the form of fossil fuels or power. Importing fuels plays a large role in the national budget and makes Belrus highly dependent on countries from which the fuels are imported, mostly Russia. Belarus will not be able to be self-sufficient with energy, but using wood biomass has the potential for increased usage as an indigenous energy resource.

Concerning power production in Belarus, the expansion of capacity has been very low during recent years, and many plants have exhausted their operating life or will reach it within the next 5 to 10 years. A forecast worked out by the World Bank shows a lack of power capacity in Belarus starting in another 5 years from now. To resolve that problem, old plants can either be rehabilitated and their life prolonged or new power plants can be put into operation. The choice of strategy will depend on the economic and ecological situation in Belarus.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Удел цезия и стронция в коммерческих системах сжигания биомассы

Лэрри Бакстер
Сандийская Национальная Лаборатория, Ливермор, штат Калифорния

ВЫДЕРЖКИ

Примерно 30% земель в Беларуси загрязнены. Это оказывает воздействие на экономическую ситуацию всей страны. Дезактивация и экономический рост этой части страны повлияет на экономику всей страны. Данное изучение сбора биомассы и подготовки топлива предназначено для описания 1) методов сбора стоящей на корню биомассы и лесной подстилки, 2) методов и принципов лесовосстановления после вырубки и 3) путей поддержания биологического разнообразия лесов. Доклад будет представлен для описания перечисленных выше пунктов.

Масштаб проекта включает в себя две стороны: очистку радионуклидов в лесах и выработку энергии на основе местных видов топлива. Дополнительными преимуществами, что придаст импульс экономике Беларуси, станет улучшение положения с трудозанятостью в регионе, проект станет движущей силой улучшения инфраструктуры (дорог, организации вырубки леса, укрепления благополучия леса) и будет способствовать валоризации лесной продукции в подвергшемся загрязнению регионе.

Часть лесов может быть существенно прорежена. Слой перегноя будет удален, и земля оставлена на следующие 30 лет для того, чтобы радиоактивность снизилась естественными путями. Обычно оставляется молодая поросль, не имеющая повреждений в результате других причин, таких как бури, снег или поражений насекомыми. Другие участки лесов будут вырублены подчистую, слой перегноя должен будет быть удален, а леса высажены заново. В любом случае, работа по восстановлению при помощи растительности должна проводиться относительно небольшими блоками в шахматном порядке с тем, чтобы дать возможность вновь установиться биологическому разнообразию из незатронутых лесов, окружающих подвергающиеся восстановлению территории.

Сравнительно крупная электростанция нуждается в наличии непрерывного источника топлива. Большинство оборудования для вырубки леса на сегодня существует, и требуется очень небольшой объем разработческой работы. Вместе с тем, оборудование, необходимое для удаления слоя перегноя, находится, в лучшем случае, на стадии прототипов. Потребуется много сделать многое для разработки машинного оборудования для такой работы, как при прореживании стоящих на корню деревьев, так и при вырубке подчистую. Также необходимо наличие инфраструктуры (дорог, транспортных объектов и пр.) и организации перевозки таких крупных объемов перегноя и древесины. Для создания всей цепочки организации поставки древесины для выработки энергии на электростанции может потребоваться проведение учебной и образовательной программы.

Для поддержания основного биологического разнообразия в восстанавливаемых областях

должен быть обдуман тщательный метод блоков и полос. Такие блоки должны быть окружены со всех сторон более взрослыми лесами, растениями, животными, насекомыми и чем угодно, что будет в состоянии колонизировать ту область, где было произведено удаление перегноя. Для успешного завершения такой работы будет необходимо разрешить всевозможные проблемы.

Проводится изучение поведения цезия и стронция при сжигании с целью 1) определения того, каким образом радиоактивные изотопы распределяются в различных зольных потоках и какое воздействие на них оказывают эксплуатационные и проектные параметры, 2) оценки путей максимального увеличения фракции радионуклидов, задерживаемых в золе, 3) определения распределения по размеру и по другим важным свойствам несущих радионуклиды зольных частиц. Будут предоставлены опытно–экспериментальные и коммерческие данные, детализирующие вероятные количества и свойства радионуклидов в различных зольных потоках от сжигания. Проведено испытание коммерческого масштаба с использованием стабильных изотопов цезия и стронция в качестве заменителей радионуклидов. Для определения распределения по количеству и размеру несущих радионуклиды зольных частиц было проведено множество испытаний опытно–экспериментального масштаба с незагрязненными и легко загрязненными видами топлива. Мы полагаем, что система, разработанная для оптимизации улавливания частиц, будет эффективно удалять радионуклиды. На Западе имеются коммерчески доступные фильтры с высокой эффективностью улавливания, и в России был обнаружен источник материала, имеющего схожую эффективность улавливания.

Основную озабоченность вызывает то, что содержащие радионуклиды вещества будут содержаться в конденсатных аэрозолях с размером частиц около микрона. Такие аэрозоли, которые сложно уловить в обычных системах очистки, могут попадать внутрь организма человека при дыхании. Существуют коммерчески доступные приспособления, которые будут удалять такой тонкий аэрозоль с высокой эффективностью, однако топочная камера, разработанная для такого применения, предназначена предупреждать формирование таких паров, делая систему очистки от частиц вторичной системой защиты. Коммерческие испытания такой системы были проведены на топочной камере на 20 $МВт_e$, которая была частью станции мощностью 50 $МВт_e$ по преобразованию биомассы в энергию компании Wheelabrator в городе Андерсон штата Калифорния в Соединенных Штатах Америки. Испытания проводились компанией Wheelabrator под наблюдением Сандийской Национальной Лаборатории, и их свидетелями были среди других людей Белорусские ученые и инженера. Было определено, что совокупная эффективность улавливания частиц составила свыше 99,9% и для цезия и для стронция.

Большинство работ в этой области в Соединенных Штатах Америки на сегодня были завершены. Разрабатываются объекты для изучений коммерческого и опытно–экспериментального масштаба с загрязненными видами топлива в Бывшем Советском Союзе. Эти исследования будут схожими с проведенными в Соединенных Штатах Америки, но будут делаться в более реальных условиях. Запланировано, что они будут завершены этим летом.

Проводится изучение конструкции котлоагрегата и систем электростанции с тем, чтобы 1) определить наилучший концептуальный дизайн для системы электростанции,

использующей в качестве топлива загрязненную биомассу, 2) разработать системы опытно–экспериментального и коммерческого масштаба, подходящие для строительства и эксплуатации в Бывшем Советском Союзе, беря за основу этот концептуальный дизайн, и 3) определить доступность критически важных компонентов и материалов для длительной эксплуатации таких систем. Будут предоставлены концептуальные и предварительные инженерные проекты коммерческих систем и детальные проекты опытно–экспериментальных систем для использования в данном проекте.

При разработке электростанций для сжигания подвергшихся радиоактивному загрязнению древесины и лесной подстилки было решено использовать насколько это возможно хорошо зарекомендовавшие себя и надежные коммерчески доступные компоненты. Проект будет фокусироваться на создании наиболее сильной, всепрощающей системы в соответствии с наилучшей практикой конструкторских работ. Место расположения и демонстрационной станции и будущих коммерческих электростанций до сих пор остаются вопросами, нуждающимися в разрешении в проекте, однако были вынесены рекомендации построить электростанцию по выработке тепловой и электрической энергии в Светлогорске. Котлоагрегат представляет собой по проекту колосниковый котел производительностью 100 т/ч ($\approx$ 23 МВт$_e$) с использованием технологии мембранных стен для топочной камеры. Избранный тип котлоагрегата является зарекомендовавшей себя технологией, производство и эксплуатация которой возможна в Бывшем Советском Союзе.

Беря за основу анализ проекта станции по выработке энергии из подвергшихся радиоактивному загрязнению древесины и лесной подстилки, можно прийти к выводу, что при тщательном проектировании станции мы будем в состоянии разрешить все опасности сжигания радиоактивно загрязненных видов топлива. Завершен предварительный, концептуальный, коммерческий проект для предлагаемого места расположения электростанции по выработке тепловой и электрической энергии в Светлогорске. Ведется разработка предварительных инженерных проектов.

Планируется проведение испытаний на фильтрующей опытно–экспериментальной станции и на сжигающей электростанции, и ведется разработка станций. Планирование призывает к тому, чтобы результаты испытания были в наличии очень скоро. Фильтрующая опытно–экспериментальная станция будет представлять собой портативную систему, предназначенную для измерения результатов фильтрования. Ожидается, что испытания фильтрующей опытно–экспериментальной станции будет проведено на лесопильном заводе АО Речицадрев. Сжигающая опытно–экспериментальная станция создается для проведения специальных испытаний с целью оптимизации условий сжигания для низкого выпаривания цезия из зольного остатка. Опытно–экспериментальная, вероятно, станция будет построена в Институте Энергетических Проблем в Соснах, Беларусь.

Изучение захоронения золы разработает приемлемые меры захоронения загрязненной радионуклидами золы, создаваемой при сжигании загрязненной в результате Чернобыля биомассы. Система захоронения золы должна отвечать всем применимым правилам и нормативам и быть простой и надежной в эксплуатации. Конструкция мест захоронения золы будет разработана, основываясь на принципах вмешательства МАГАТЭ.

Наиболее практичным решением было бы разместить место захоронения поблизости с электростанцией, поскольку это привело бы к наименьшим затратам на транспортировку и способствовало бы надзору за местом захоронения. Путем захоронения золы станет ее загрузка сначала в большие мешки, изготовленные из полипропилена, способные вмещать 1,7 $м^3$. После этого мешки будут перевозиться грузовиком к ближайшему месту захоронения. Большие мешки будут размещаться поверх глины и закрываться защитным пластиковым покрытием. Покрытием могла бы быть мембрана из полиэтилена низкой плотности толщиной 1 мм. Такое пластиковое покрывало значительно ограничит миграцию в толщу земли любых загрязняющих веществ, поскольку оно обеспечивает защиту от дождевой воды.

Совместно с властями Беларуси на проекте проводятся работы, связанные с утверждением типа захоронения. Будущие работы по захоронения золы будут включать тестирование на выщелачивание цезия и стронция из золы, созданное при сжигании загрязненных радионуклидами древесины и лесной подстилки.

Экономические и системные изучения заключаются в 1) исследовании роли выработки энергии из биомассы в национальных и региональных энергетических структурах и 2) определении экономических характеристик различных систем выработки тепловой энергии. Будут предоставлены проектируемые затраты и процент возврата на инвестиции для различных энергетических систем и анализ воздействия таких систем на структуру энергетики в целом.

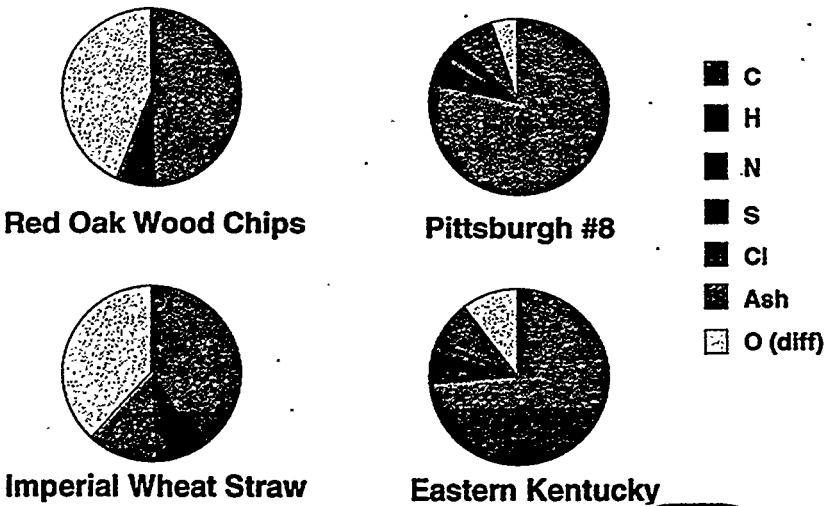
Республика Беларусь располагает недостаточными энергетическими ресурсами внутри страны и, в силу этого, вынуждена довольно серьезно полагаться на импортируемую энергию, в виде либо ископаемых видов топлива либо электроэнергии. Импорт энергоносителей играет большую роль в государственном бюджете и приводит к глубокой зависимости Беларуси от стран, откуда импортируются энергоносители, главным образом России. Беларусь не будет в состоянии обеспечивать собственные потребности в электроэнергии, однако применение древесной биомассы имеет потенциал повышения потребления местных энергетических ресурсов.

В отношении выработки энергии в Беларуси, на протяжении недавних лет расширение вырабатывающих мощностей происходило очень медленно, и многие станции выработали свой срок полезной эксплуатации или же достигнут его конца через 5 - 10 лет. Разработанный Всемирным Банком прогноз показывает недостаток выработки электроэнергии в Беларуси, начиная через 5 лет с сегодняшнего времени. Для решения этой проблемы должна быть или проведена реконструкция старых электростанций с продлением их срока полезной эксплуатации или введены в эксплуатацию новые электростанции. Выбор стратегии будет зависеть от экономической и экологической ситуации в Беларуси.

Fate of Inorganics in Fuel Conversion Systems

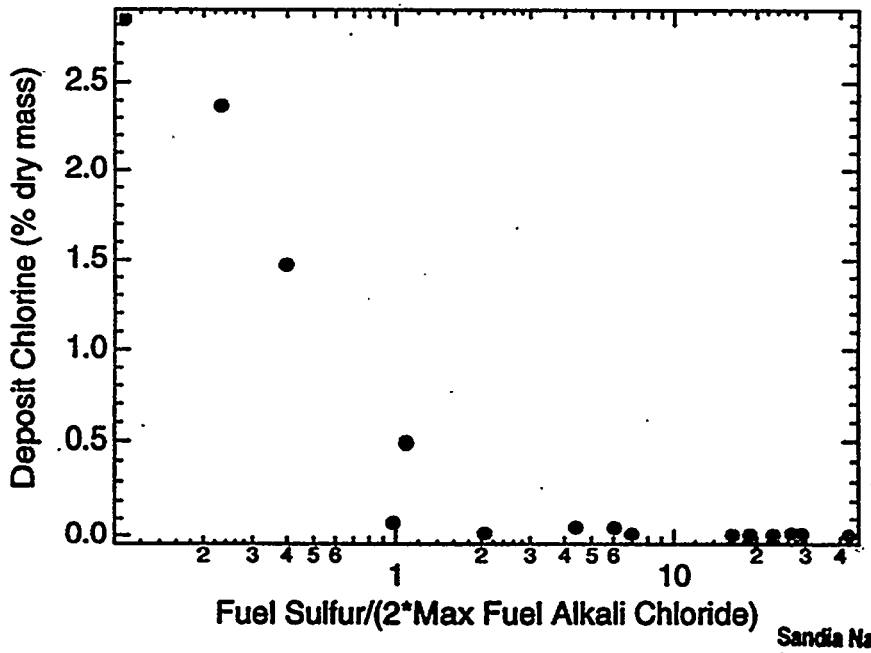
Chernobyl Bioenergy Project
Larry Baxter
Sandia National Laboratories
Livermore, CA 94550

Fuel Composition



FETC NREL Sandia National Laboratories

Chlorides are Converted to Sulfates



MFC

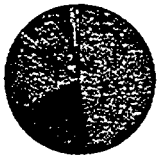
Sandia National Laboratories
Combustion Research Facility

Ash Composition

Pittsburgh #8

7.8% Ash

Red Oak Wood Chips



1.3% Ash

Eastern Kentucky

7.8% Ash

Imperial Wheat Straw

15.4% Ash

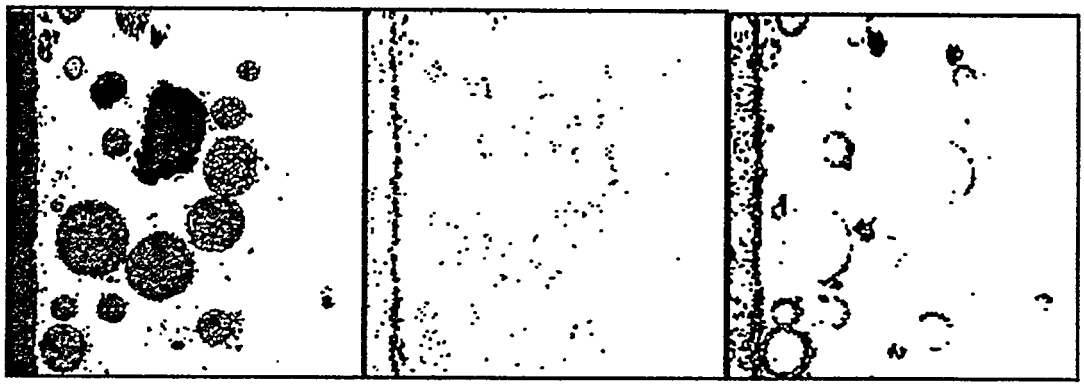
SiO2
Al2O3
TiO2
Fe2O3
CaO
MgO
Na2O
K2O
SO3
P2O5
Cl

FETC

NREL

Sandia National Laboratories

Surface Analysis Supports Hypotheses

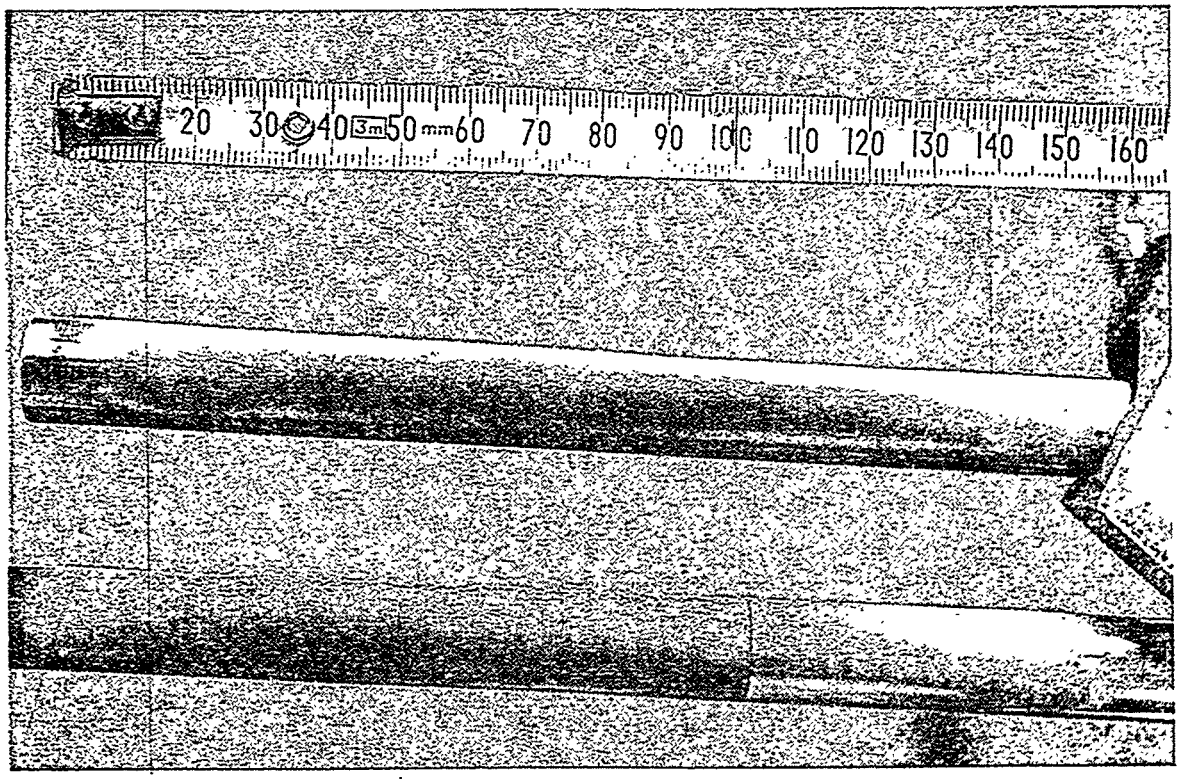


MFC

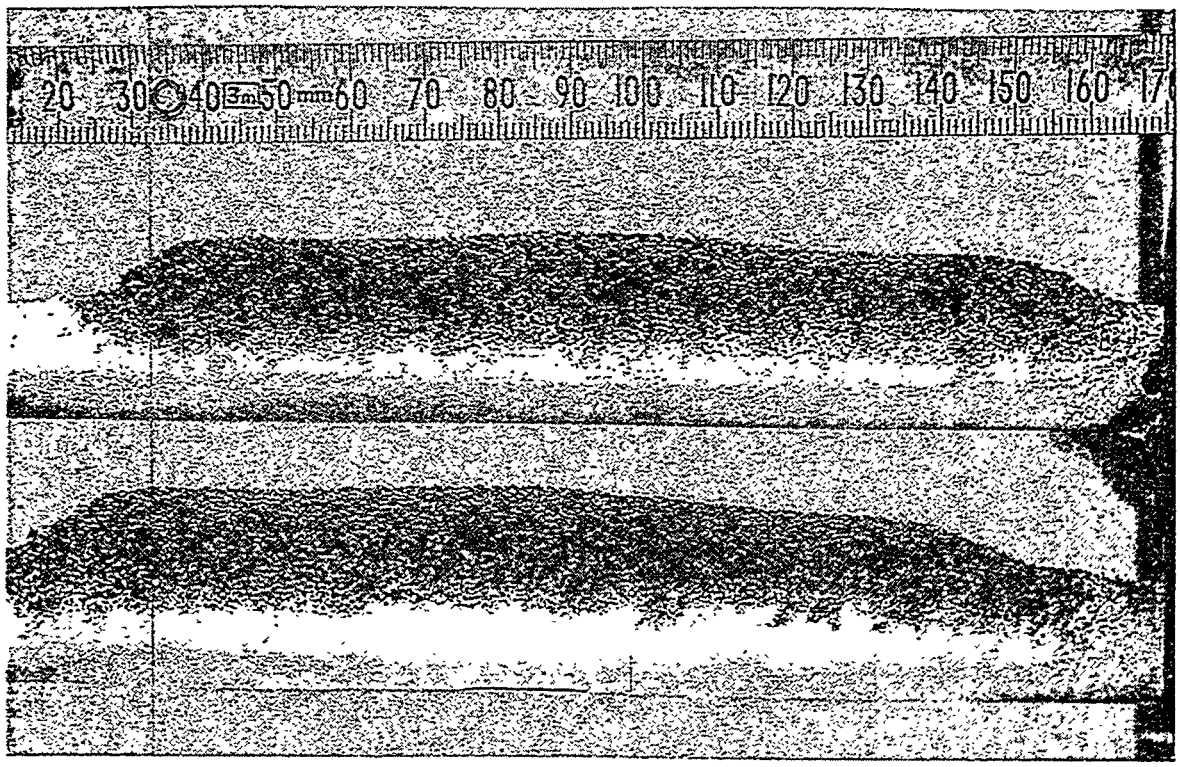
Sandia National Laboratories
Combustion Research Facility

Test Combustion at Sandia National Laboratories, California.

All tests lasted one hour. Upper tubes operated at 540°C and lower tubes at 460°C.



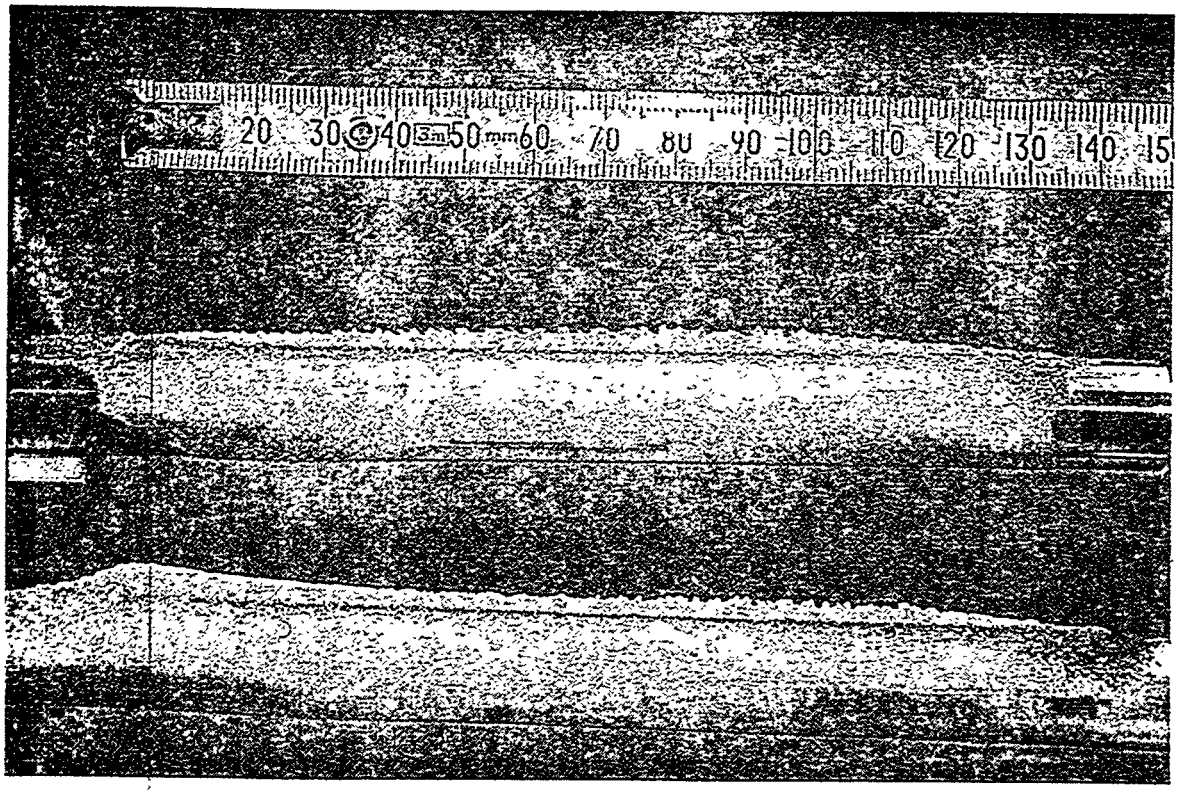
Deposits from Combustion of Wood Chips.



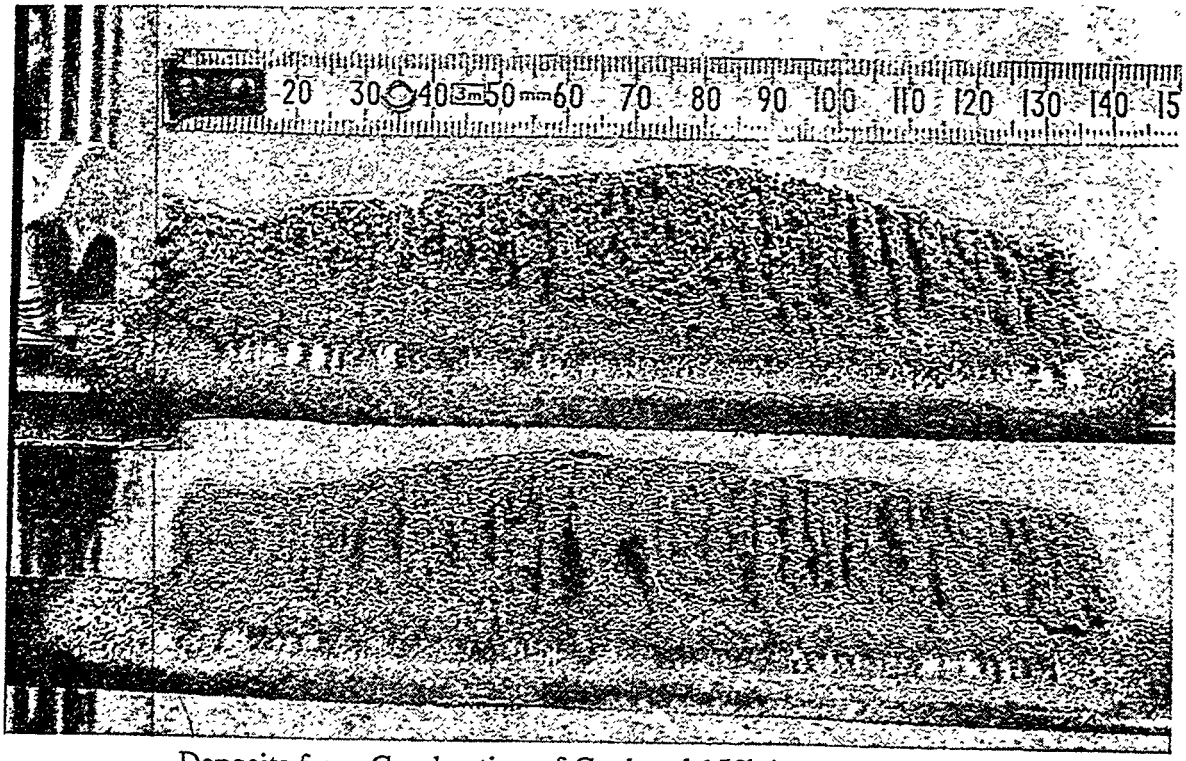
Deposits from Combustion of Straw

Test Combustion at Sandia National Laboratories, California.

All tests lasted one hour. Upper tubes operated at 540°C and lower tubes at 460°C.

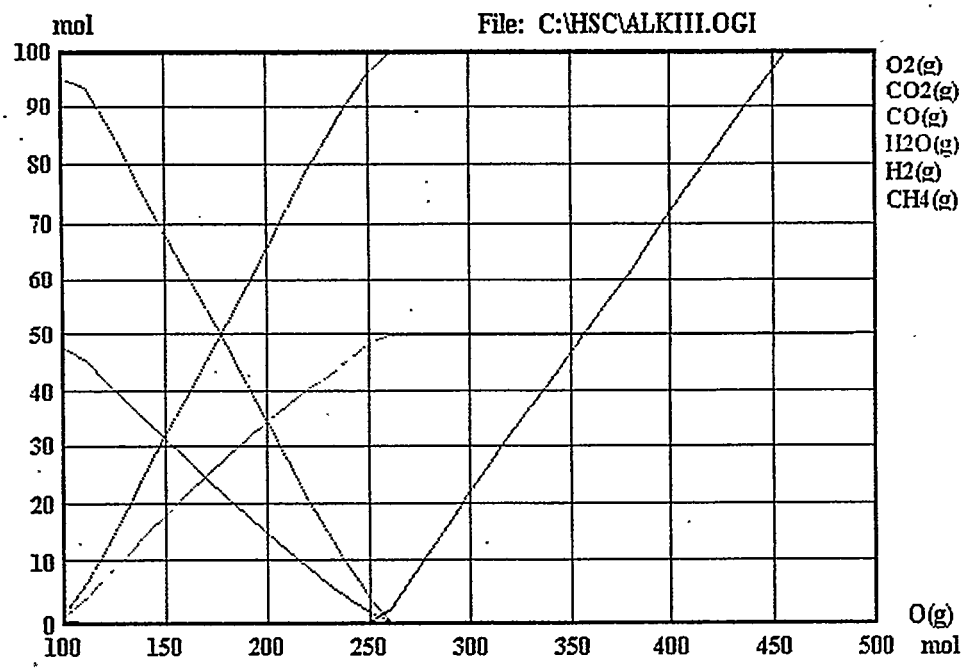


Deposits from combustion of Steam Coal.

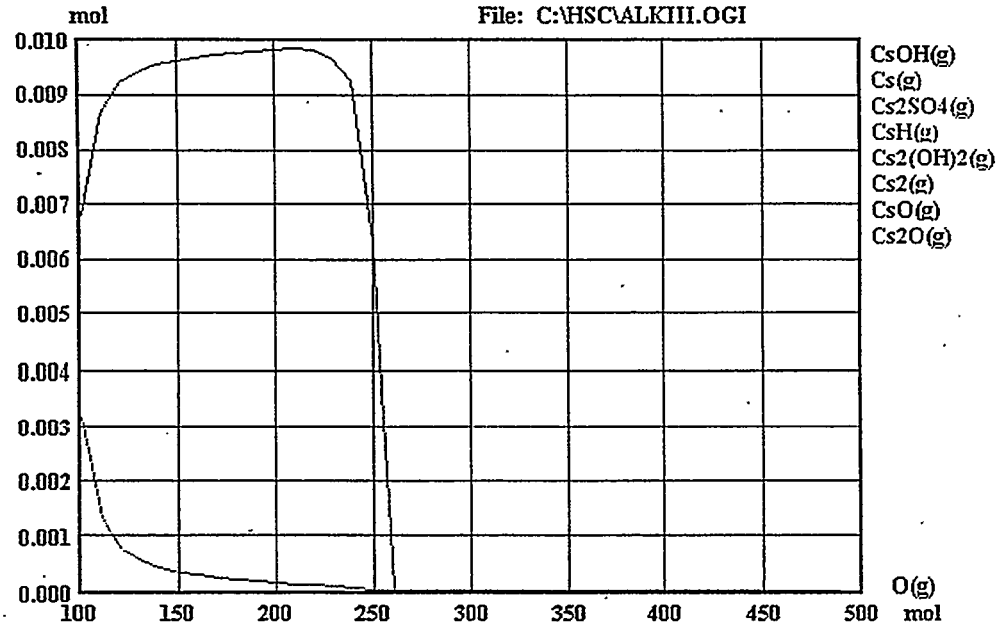


Deposits from Combustion of Coal and 15% (energy-based) Straw.

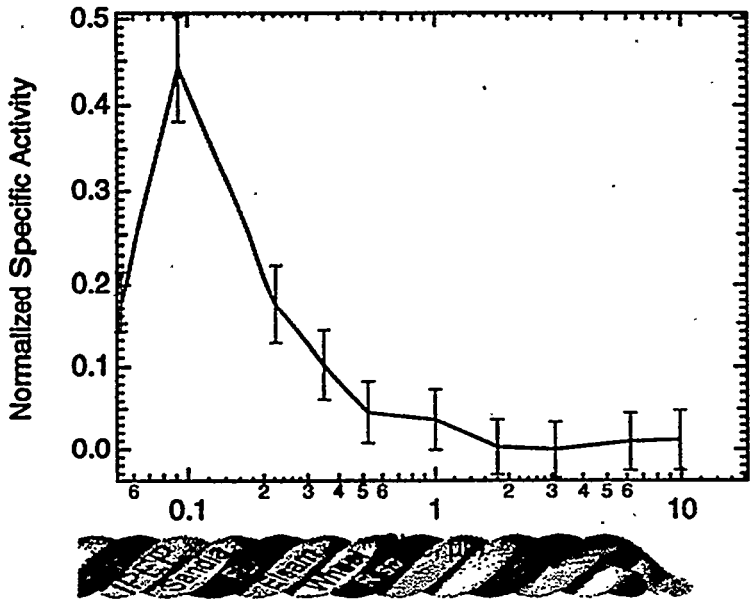
Fuel to Air Ratios Effect Chemistry



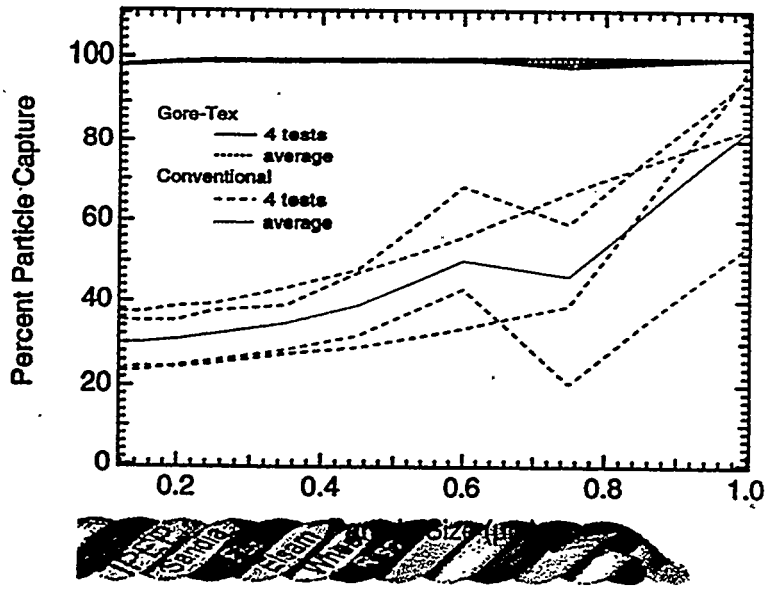
Stoichiometry Affects Cs Phase



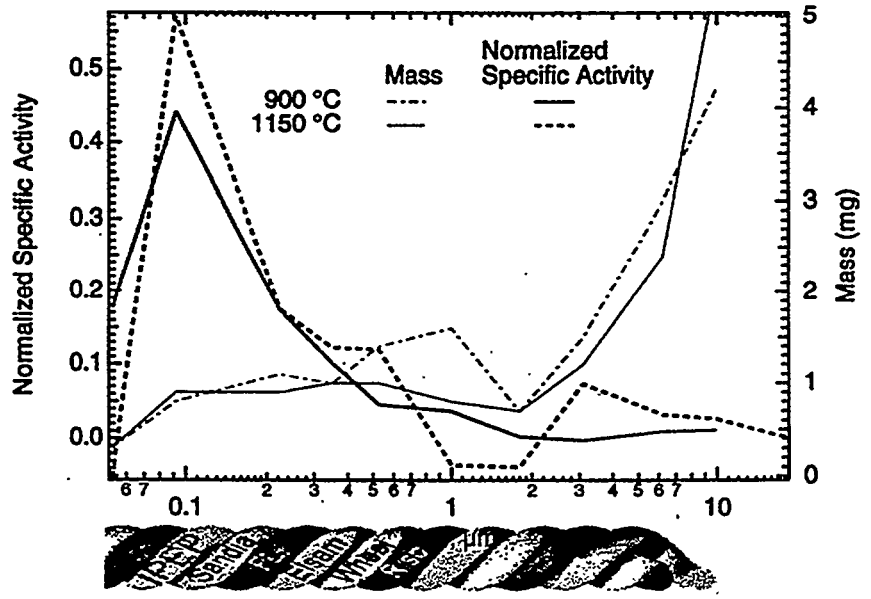
Beta Activity of Flyash



Particulate Capture is Essential



Activity Depends on Size



Safety Engineering Implications for Biomass Conversion

Haywood Anderson
International Applied Engineering, Marietta, GA

ABSTRACT

This discussion concerns identification and suggestions for resolution of safety engineering implications associated with contaminated biomass collection, conversion, and disposal activities. These implications include consideration of potential safety impacts to process equipment design and operation, facility personnel, and the public. The following aspects will be identified: regulatory criteria and limitations, process performance and efficiencies, input streams, output streams, waste form and disposal, protection of facility personnel and the public, and public, regulatory, and commercial acceptance. An initiative for developing a team approach to successfully resolve these issues will be proposed.

Обращение с радиоактивными отходами, состояние окружающей среды и охрана здоровья работников

Учет требований техники безопасности при преобразовании биомассы

Хейвуд Андерсон
компания International Applied Engineering, Мариетта, штат Джорджия

ВЫДЕРЖКИ

Данное обсуждение относится к определению решений в области техники безопасности, относящихся к работам по сбору, преобразованию и захоронению загрязненной биомассы и к предложениям по таким решениям. Смысл таких решений заключается в принятии во внимание потенциального воздействия конструкции и работы перерабатывающего оборудования на безопасность работающих на объекте людей и населения. Должны быть определены следующие аспекты: критерии и ограничения нормативного характера, рабочие характеристики и эффективность процесса переработки, потоки входной продукции, потоки выходной продукции, форма отходов и захоронение, защита работающих на объекте людей и населения, регуляторная и коммерческая приемка и принятие населением. Будет предложена инициатива разработки коллективного подхода для успешного разрешения этих вопросов.

Safety Engineering Implications for Biomass Conversion

Haywood Anderson

International Applied Engineering

IAE Proposal for Biomass Conversion Pilot Plant

- Currently a draft proposal
  - Build a "team" approach and participation
  - Build on proven technologies and experience
- Final proposal

Issues

- Contamination-related considerations
  - Safety - Process, personnel, public
  - Acceptance
  - Costs
- Identify other issues

Solutions

- Team effort to achieve pilot program and commercial application goals

Objective

- Identify information resources
  - Those already developed or assembled
  - Prioritize development of other information

Identify Information Resources

- Chornobyl exclusion zone biomass resource assessment
- Ash radioactivity collection efficiency and concentration
- Other

Identify and Assess Radiological and Safety Issues / Restraints

- Regulations
  - Occupational, effluent - personnel, public, environmental
- Potential failure modes
- Candidate siting locations
- Requirements
  - Process related, personnel protection
- Equipment selection, sizing, and costs.

Regulations

- Occupational / Effluent
  - Personnel exposure
    - Background radiation levels
    - Input streams
    - Process stream
    - Outputs and waste streams (air, water, waste form)
  - Waste disposal - site, transportation
  - Offsite exposure

Potential Failure Modes

- Failure modes - effects
  - Fire
  - Ash collection process equipment
    - Bypass
    - Failure
  - Untreated exhaust path
  - Requirement for specific ventilation controls

Process-Related Requirements

- Characterize input streams
  - Wood, duff
  - Input stream handling
- Identify process stream collection and concentration factors
- Identify output stream waste form, treatment, and disposal
- "Other" wastes

Process-Related Requirements

- Instrumentation and alarms
- Operating practices
- Access
  - Operations
  - Maintenance
- Dual train capability
  - Ash collection, handling, waste form processing

Personnel Protection Requirements

- Personnel Protection Program
  - Surveys and equipment
  - Installed instrumentation
  - Personnel dosimetry - records
  - Exposure and access control
    - Radiation and contamination control areas
    - Shielding / "hot spots"
    - Methods and efficiencies (breathing apparatus, filters, clothing)

Results

- Pilot plant
- ... A successful TEAM solution to move forward aggressively and successfully ..
- Commercial scale plant

Environmental Health and Safety Considerations Related to Biomass Energy Conversion

Clay Easterly
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee

ABSTRACT

Protection of workers and members of the public during phytoremediation and biomass energy conversion at the Chornobyl site will be afforded by currently in-force regulations and practices in addition to procedures and methods that will be developed during the planning and early implementation phases of this program. This program offers opportunities for Oak Ridge National Laboratory (ORNL) scientists to collaborate with their colleagues in a variety of risk-characterization and risk-minimization activities.

Starting with the general concept of environmental pathways analysis, human exposures to radionuclides may be considered to be in the near-term (within a few years) or long-term (within decades). The analysis must consider both the potential new exposures associated with Biomass and Energy production and the reduction in potential exposures associated with forest fires in the previous condition of unmanaged forests. Forest management associated with the proposed program may also offer increased retention of radioactive materials within the CEZ, thereby reducing the future impacts to people living downstream of the watershed. Thus, different population groups will have different potential new exposures and different reductions in potential exposures according to the specific locations and types of the sources and the receptors.

In terms of the actual dose calculations, it is customary within the United States to make a chain of very conservative assumptions with a new link at each point where data are needed. This process ensures that no one will receive an exposure as high as is calculated, but it also does not give the analyst a true picture of the actual human risk since the resulting calculations can be orders of magnitude higher than actual. It is recommended that distributions of data be used for each input point and that these distributions represent actual variables at the locations of interest. Specificity and accuracy in the calculations should go as far as reasonable, including exposure-to-dose differences in infants, children, and adolescents, as compared with adults. Only when all dose calculations are made with reasonable accuracy can there be true risk-benefit valuations and reasonable risk-trading decisions.

Decontamination of the CEZ will be a lengthy process, and we must continue to improve our risk calculation methods. Improvements in our understanding of these issues could have important effects on approved land uses. For example, ORNL is working on a new approach to estimate the relative biological effectiveness factors (RBE) as a function of dose and dose rate. Because RBE is directly related to the conversion of exposure to risk, continued study of this factor for doses and dose rates obtained in and around the CEZ is important. Other areas of ongoing study include the development of a cancer model for combining effects of radiation exposure and the effects of chemical exposures, and the development of an approach that could use modern molecular biological assays to assist in the extrapolation of risk to regions of low dose and dose rate. As improvements in calculations of dose and risk occur, any changes could have direct impact on the approved land uses.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Соображения благополучия окружающей среды и безопасности при преобразовании биомассы в энергию

Клэй Истерли
Национальная Лаборатория Ок-Ридж, Ок-Ридж, штат Теннесси

ВЫДЕРЖКИ

Помимо процедур и методов, которые будут разработаны во время фаз планирования и начальной реализации программы, защита работников и населения во время работ по восстановлению при помощи растительности и преобразованию биомассы в энергию в Чернобыле будет обеспечиваться действующими на сегодня нормативами и практиками работы. Данная программа дает возможность ученым Окриджской Национальной Лаборатории вести сотрудничество со своими коллегами в ряде работ по определению характеристик рисков и сведения их к минимуму.

Начиная с анализа общих принципов экологии, воздействие радионуклидов на человека может рассматриваться на краткосрочной (в течение нескольких лет) или долгосрочной основе (в течение десятилетий). Анализ должен принимать во внимание как возможные новые воздействия, связанные с производством биомассы и выработкой энергии, так и снижение вероятных воздействий, связанных с лесными пожарами в прежних условиях бесхозного обращения с лесом. Ведение лесного хозяйства, связанное с предлагаемой программой, может также дать улучшенное удержание радиоактивных материалов в пределах Чернобыльской Зоны отчуждения, снижая, тем самым, будущие влияния на людей, проживающих ниже по течению водосборного бассейна. Таким образом, различные группы населения будут обладать различной вероятностью новых воздействий и различным снижением вероятных воздействий в зависимости от конкретного месторасположения и типов источников и рецепторов.

С точки зрения расчетов фактической дозы, в Соединенных Штатах Америки принято составлять цепочку весьма консервативных предположений с новым звеном в каждом месте, где необходимы данные. Такой процесс обеспечивает не только то, чтобы никто не получил дозу такой величины, какая была полученна при расчете, но и дает аналитику истинную картину фактического риска для человека, поскольку величины, получаемые в результате расчеты, могут во много раз превышать существующие на самом деле значения. Рекомендуется, чтобы для каждого места сбора входных данных брался разброс данных и чтобы такой разброс представлял фактически имеющиеся переменные величины в изучаемом месте. Расчеты должны быть насколько это разумно возможно конкретными и точными, включая различия облучения по отношению к дозе для младенцев, детей и подростков по сравнению с взрослыми людьми. Только тогда, когда все расчеты доз проведены с разумно возможной точностью, можно проводить истинные оценки риска-преимущества и принимать в этом отношении разумные решения.

Дезактивация Чернобыльской Зоны отчуждения будет длительным процессом, и мы должны продолжать улучшать наши методы расчета риска. Совершенствование

понимания нами этих вопросов может иметь важное воздействие на разрешенное землепользование. К примеру, Окриджская Национальная Лаборатория работает над новым подходом к расчету факторов относительной биологической эффективности излучения как функции дозы и ее мощности. Поскольку относительная биологическая эффективность излучения имеет непосредственное влияние на риск при облучениями, является важным продолжение изучения этого фактора для доз и мощности дозы, полученных в Чернобыльской Зоне отчуждения и вокруг нее.

Другая область проводимых исследований - это разработку модели рака для изучения комбинированных воздействий радиационного облучения и эффектов химических воздействий и разработку подхода, который бы использовал современные молекулярные биологические методы количественного анализа для экстраполяции риска на регионы с никой дозой и мощностью дозы. По мере того, как происходят усовершенствования в расчете доз и риска, любые изменения могут иметь непосредственное влияние на разрешенное землепользование.

Environmental, Health & Safety Considerations Related to Biomass Energy Conversion

Clay E. Easterly Ph.D.
Life Sciences Division
Oak Ridge, National Laboratory

Chornobyl Phytoremediation and Biomass Energy Conversion Workshop

23-25 February, 1998

Slavutych, Ukraine

Background of Presenter

- Last of the Atomic Energy Commission Health Physics Fellows
- 25 Years Experience in Similar Assessments
- Leads "Health Effects" Group with Specialists in:

Health Physics	*Mathematics*
Toxicology	*Physics*
Epidemiology	*Industrial Hygiene*

Past 1.5 Days Much Technical Information Presented

Reflections

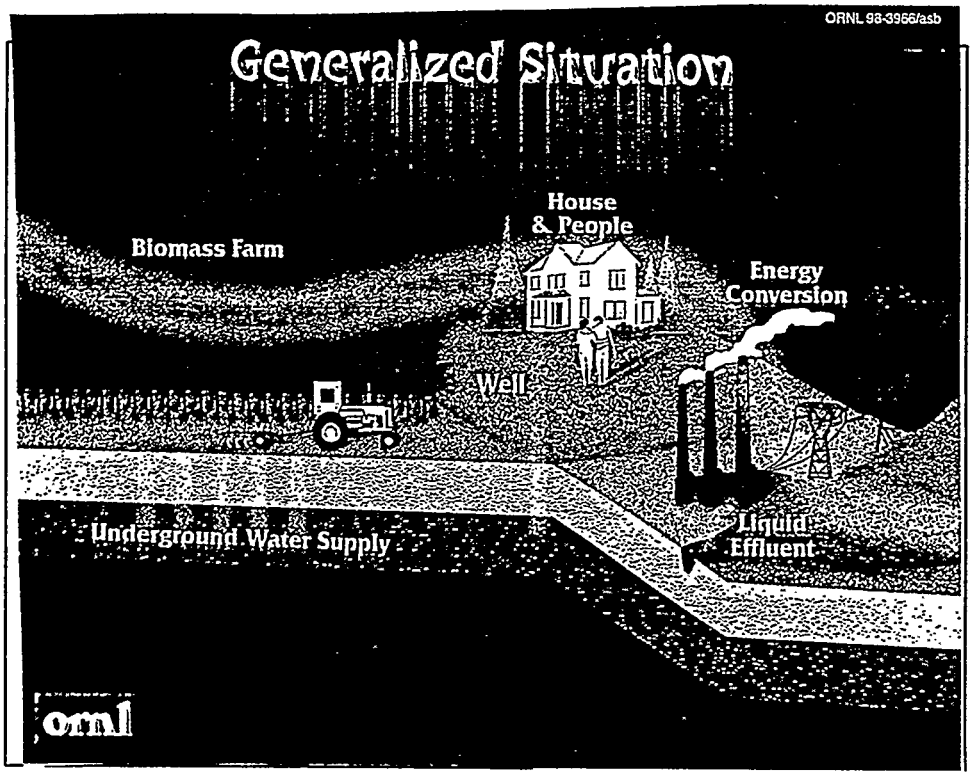
- **Wealth of data**
- **Evidence of significant effort**
- **Difficult for anyone to add significantly**
- **Suggest time be spent considering how to best use data**

Data Can Lead or Limit Analysis

- **Assess surface and near surface concentrations of radionuclides**
- **Develop protection program**
- **Evaluate potential for bioenhanced cleanup**
- **Focus is on radiation**
- **Large scale biomass program may result in agrochemical exposures**
- **Potential for energy conversion options to have influence on workers & public**

Basic Principles in Integration of Data

- Minimize spread of contamination
- Minimize risk (radionuclides+ chemicals)
- Contrast short-term and long-term
- Identify populations that may have different risk factors
- Characterize pollutant pathways to different populations
- Apply reasonable exposure factors



Factors Associated With Integration of Information Needed to Calculate Risk

Cumulative (Person Sv) & individual (Sv) dose

- Present children, population, workers
- Future children, population, workers

Technology options

- Energy conversion
- Waste options
- Agricultural options
- Radiological vs chemical

Agricultural Chemicals

- Insecticides
- Fungicides
- Herbicides
- Fertilizer

Model Parameters

- Maximum (point estimate)
- Distribution

Off-Site Risk (to Individuals and Population)

- Avoided dose from forest products
- Each prospective Biomass Farm may have different physical factors leading to risk
- Technical options for *Biomass Culture, Energy Conversion, & Waste Management* may give different risks for different population goups
- Very different decisions can be made depending on contrasting philosophic approachs to risk calculations

Worker Risk (on-Site)

- **Biomass farming (experience and standard health physics/ industrial hygiene practices)**
- **Energy conversion**
  - **conventional combustion**
  - **gasifier**
- **Waste management concept may be tied to to energy conversion option**
  - **cost**
  - **concept usually chosen to meet time vs risk for public**

Experience and Strength at ORNL

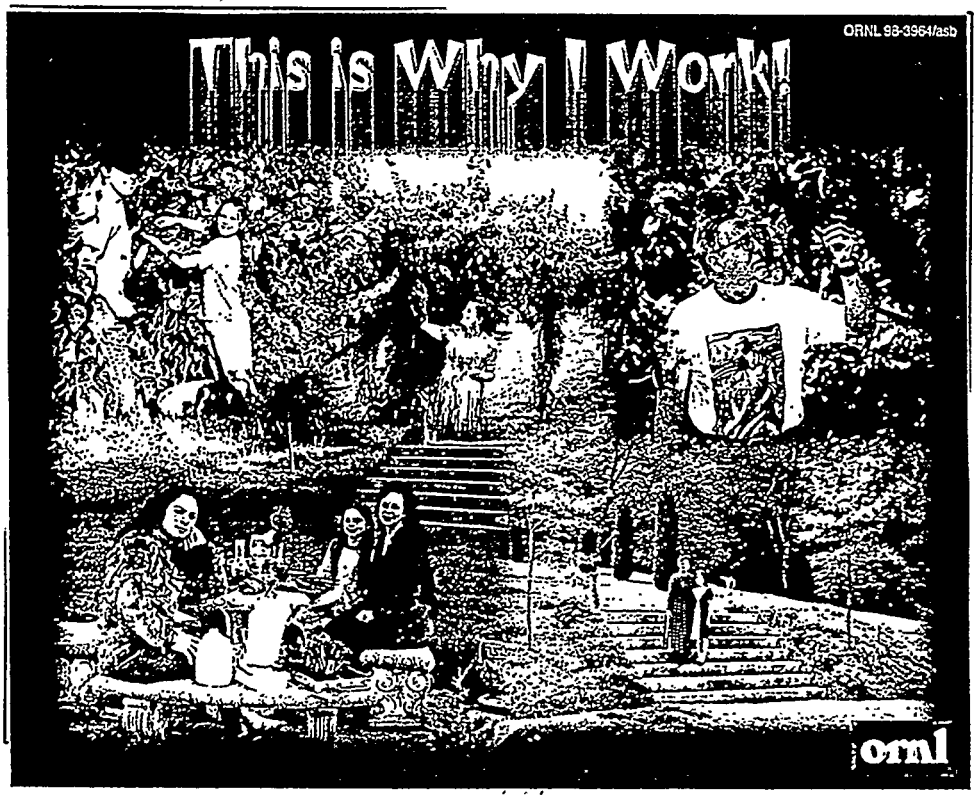
- History of leading internal dose modeling for International Commission on Radiological Protection
- Developing age dependent internal dose models (infant, child, adolesent, adult)
- Develops internal and external dose factors for United States Federal Agencies
- Maintains largest number of toxicological data bases

Experience and Strength at ORNL (cont.)

- Developed new approach to estimate RBE vs dose and dose rate
- Developed cancer model for combining effects of radiation and chemical mixture exposures for cancer risk
- Has long-term interest and foundation to develop low-dose extrapolation model using molecular biology + traditional bioassays
- Mixture concept could be extended to other health impacts such as reproduction

Collaboration Needed to Integrate Information and Resolve Risk Issues

- Blend (share) information
  - -one on one
  - -focused workshops
- Develop philosophic approach to risk calculation methods consistent with;
  - -long and short-term goals of stakeholders
  - -data availability
- Screening models
- Formal models
- Iterative feedback with colleagues


This is Why I Work!
ORNL 98-3964/asb
ornl

Health Physics and Radioecology

Joen Roed
Risio National Laboratories, Roskilde, Denmark

ABSTRACT

There are international standards governing the concern to be exercised with the handling of radioactive systems. These standards reflect both the cares that must be taken when levels are high and the limits below which stringent procedures can be relaxed. The author quoted a passage from *Health Physics and Radioecology* to help focus on the type of work to be carried out during the phytoremediation: "Intervention—the cost of intervention must be less than the risk and cost from avoided dose." This is different from normal practice. If the remediation is carried out under conditions of normal practice, it may be too costly a process.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Дозиметрическая служба и радиационная экология

Йорн Роэд
Национальные Лаборатории Рисио, Роксилле, Дания

ВЫДЕРЖКИ

Существуют международные стандарты, регламентирующие порядок обращения с радиоактивными системами. Эти стандарты отражают как меры предосторожности, необходимые при высоких уровнях радиоактивности, так и те границы радиоактивности, ниже которых строгость процедур обращения с радиоактивными системами может быть ослаблена. Автор привел цитату из *Дозиметрической службы и радиационной экологии* с тем, чтобы помочь сосредоточиться на том типе работ, которые должны выполняться при восстановлении при помощи растительности: «Вмешательство – цена вмешательства должна быть ниже, чем риск и цена получения радиоактивной дозы, которую удалось избежать.» Это отличается от обычной практики работ. Если восстановление при помощи растительности проводится в условиях обычной практики работ, то цена процесса может быть слишком высока.

Evaluation of Doses from Different Contaminated Biomass Conversion Options

A Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

ABSTRACT

IPEP has developed a model to assess doses for different elements of the Chornobyl Bioremediation Project from forestry to ash treatment. The model is based on calculated maximum doses and actual measurements for a variety of situations including exposure to ash from home fires using brush and wood products, ash from chimneys, ash spread as fertilizer, and exposures to residents and various workers including ash management and conversion plant persons. It is concluded that forest workers receive the highest doses and ash management and conversion plant workers are next but with significantly lower doses.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Оценка доз при различных вариантах преобразования загрязненной биомассы в энергию

А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

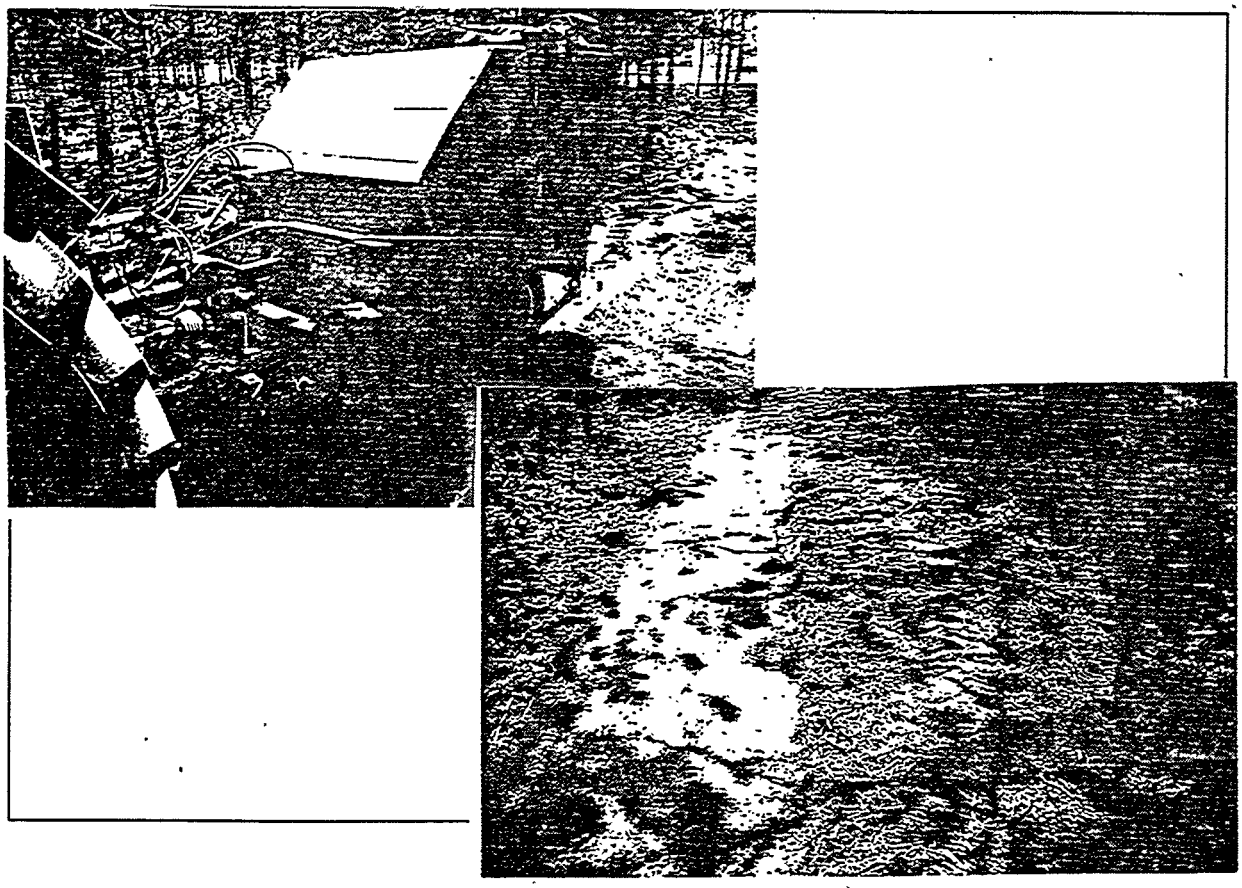
ВЫДЕРЖКИ

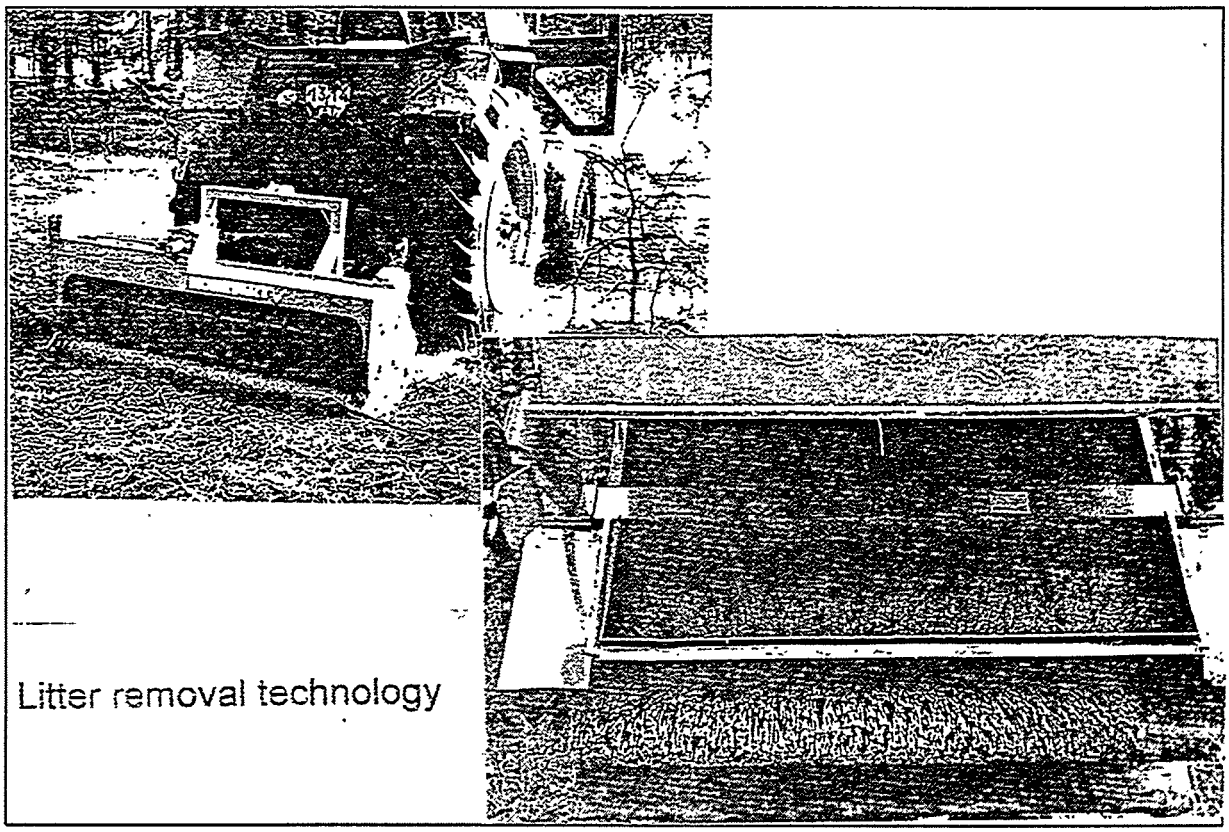
Институт Энергетических Проблем разработал модель для оценки доз от различных элементов Чернобыльского проекта по восстановлению при помощи растительности, от лесоводства до обработки золы. Модель основывается на расчете максимальных доз и фактических измерениях для широкого набора ситуаций, включая облучение от золы, возникающей при сжигании в домашнем хозяйстве подлеска и древесины, от золы из дымоходов, золы вносимой в качестве удобрения, и облучение проживающего населения и различных работников. Работники включают в себя людей, занимающихся обращением с золой и работающих на электростанциях по преобразованию биотоплива. Сделано заключение, что наиболее высокие дозы получают работники лесного хозяйства, за ними идут работники, занимающиеся обращением с золой и работающие на электростанциях по преобразованию биотоплива, однако их дозы являются значительно более низкими.

International Cooperation Projects Involving IPEP

EVALUATION OF DOSES FROM DIFFERENT CONTAMINATED BIOMASS CONVERSION OPTIONS

Vitaly Rimkevich	IPEP, Belarus
Sasha Grebenkov	IPEP, Belarus
Jørn Roed	RISØ, Denmark
Kasper Andersson	RISØ, Denmark
Terry Sullivan	BNL, USA
David Brekke	SNLs, USA

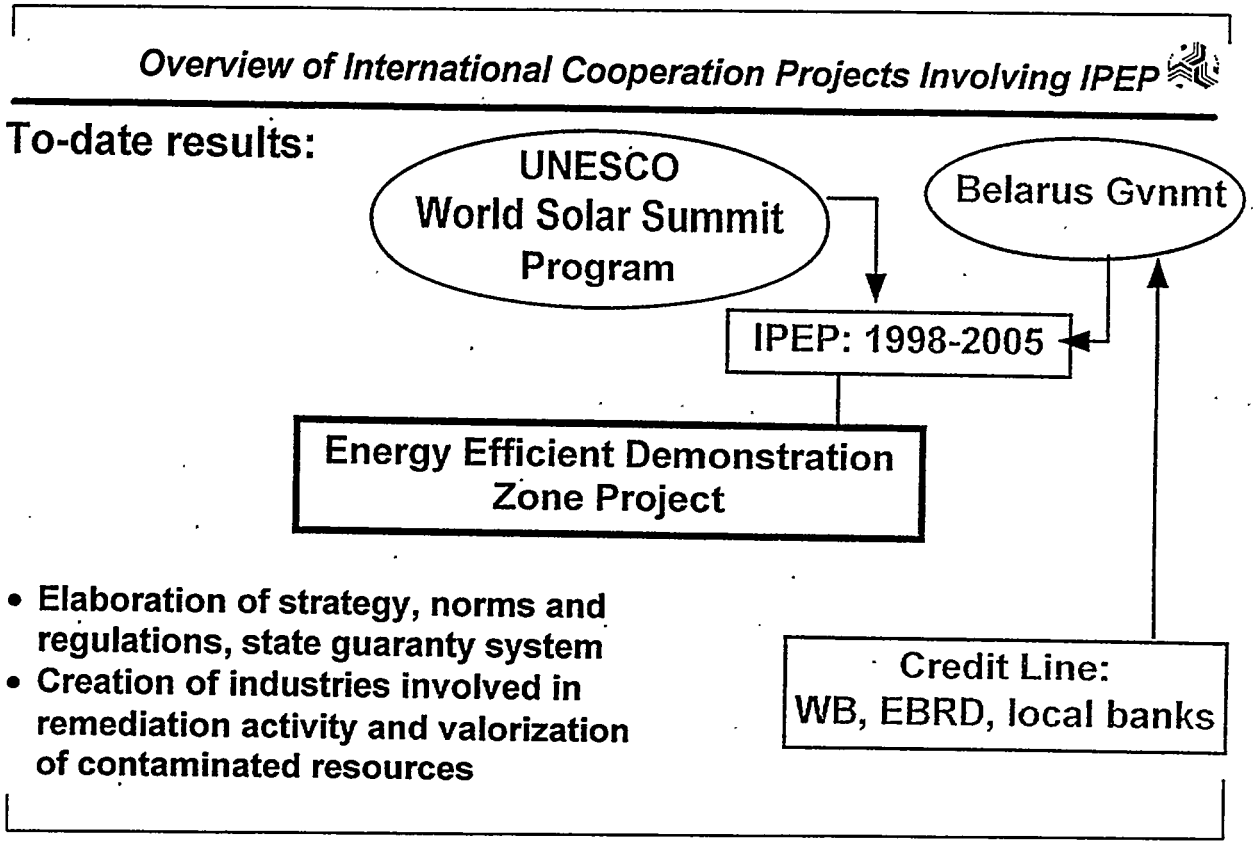


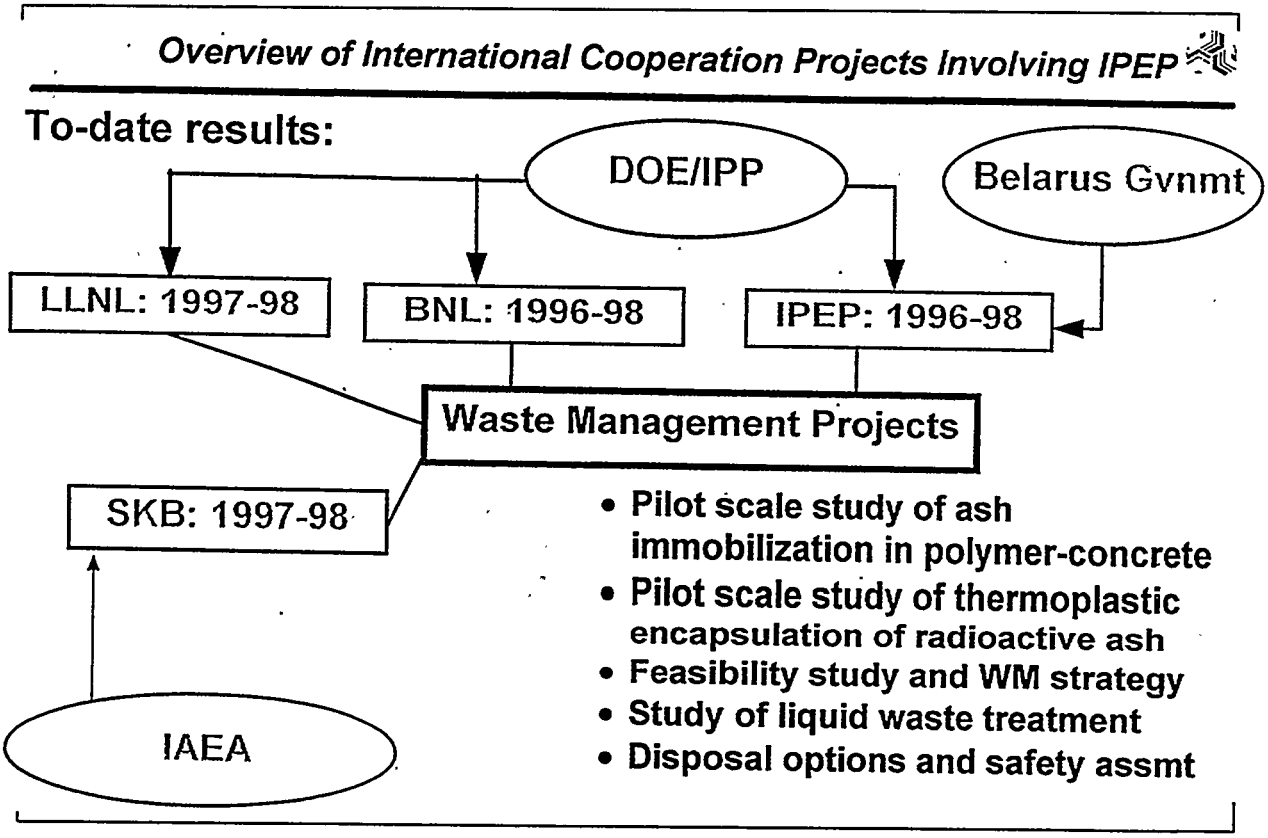


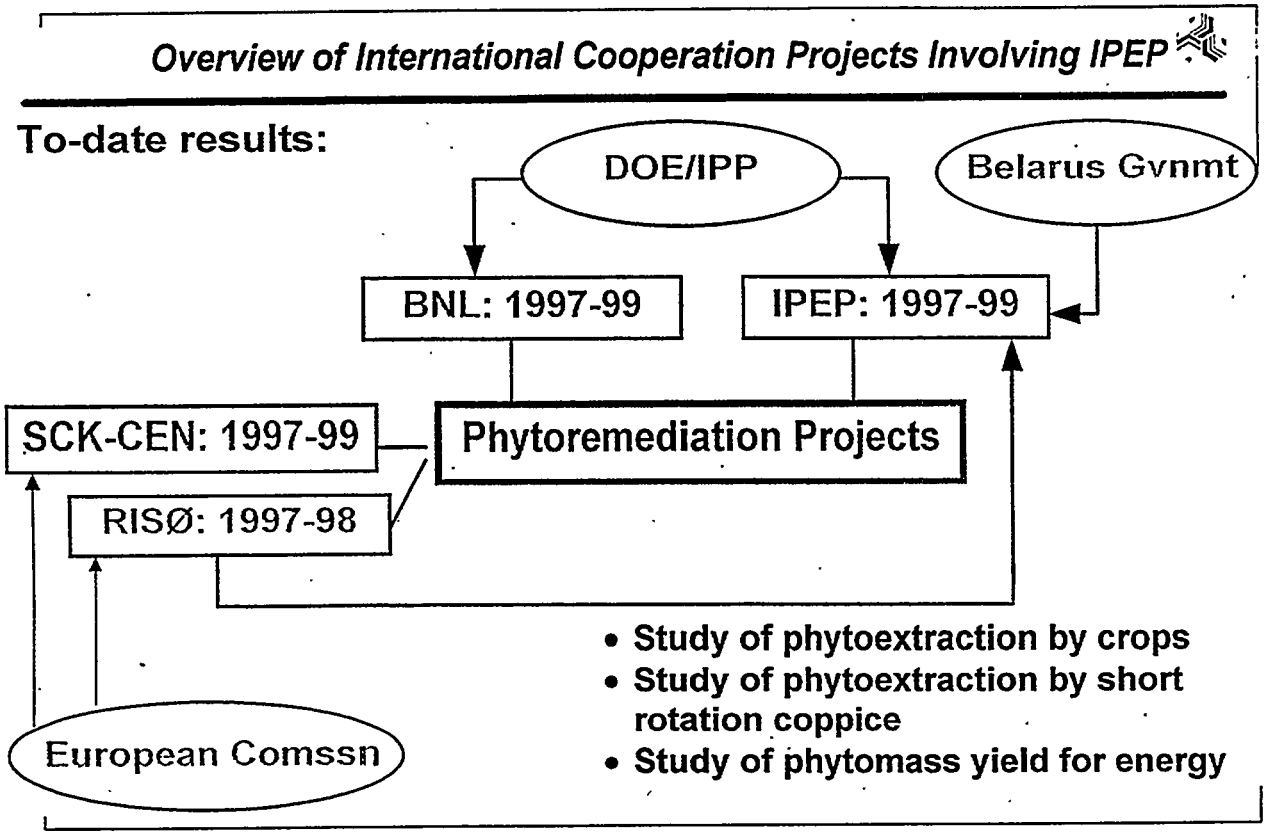
Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

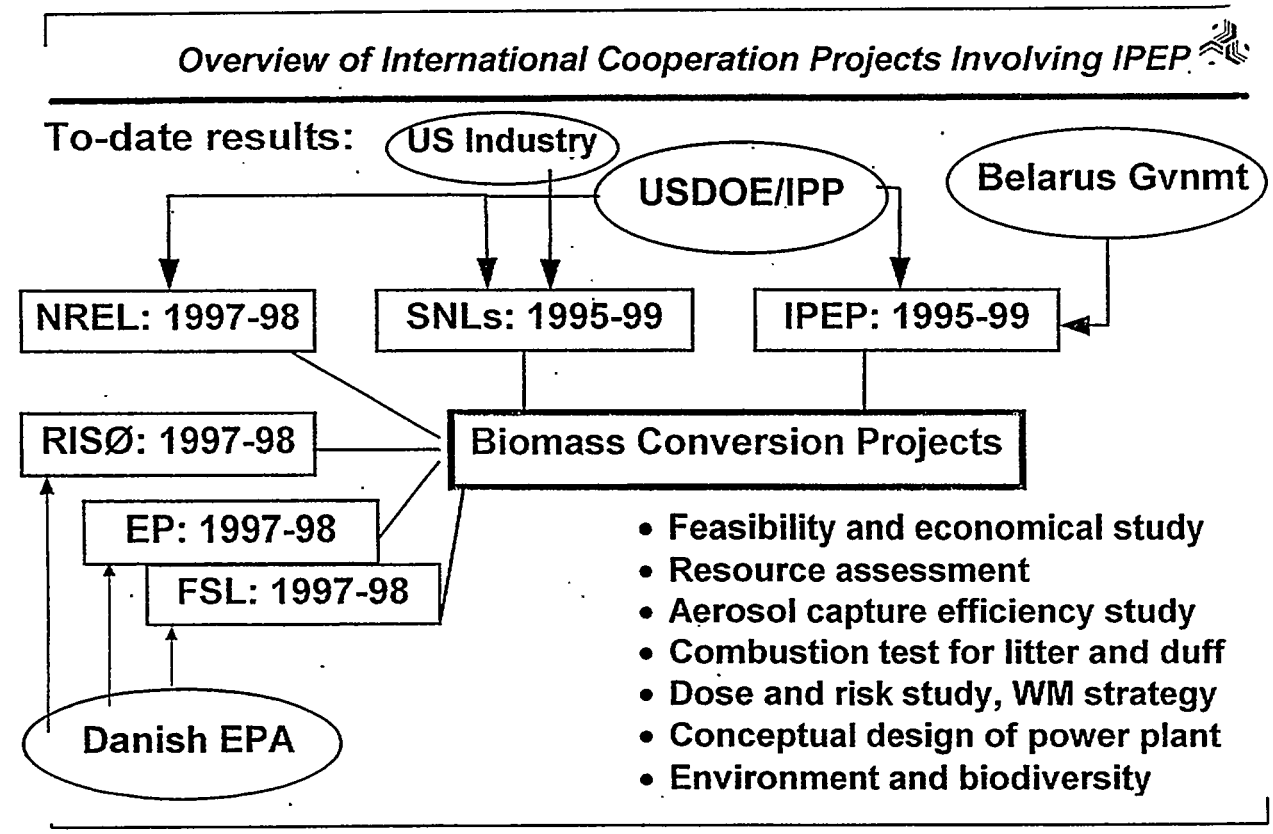
Current Situation:

- Feasibility study completed
- Reliable data on most of the aspects are obtained from the tests at commercial and bench scale facilities
- Specific pilot scale facilities are being designed
- Conceptual design for power plants is being elaborated
- Demonstration scale facilities' sites have been identified and characterized
- Ministry of Energy, Ministry of Forestry, Ministry of Environment, Ministry of Emergencies are entirely involved and supportive
- Local Governments are positively interested
- Local industries are engaged
- Is required infrastructure entirely in place?
- Will investment climate be attractive?


Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP
To-date results:
UNESCO
World Solar Summit
Program
Belarus Gvnmt
IPEP: 1998-2005
Energy Efficient Demonstration
Zone Project
• Elaboration of strategy, norms and regulations, state guaranty system
• Creation of industries involved in remediation activity and valorization of contaminated resources
Credit Line:
WB, EBRD, local banks


Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP
To-date results:
DOE/IPP
Belarus Gvnmt
LLNL: 1997-98
BNL: 1996-98
IPEP: 1996-98
Waste Management Projects
SKB: 1997-98
IAEA
• Pilot scale study of ash immobilization in polymer-concrete
• Pilot scale study of thermoplastic encapsulation of radioactive ash
• Feasibility study and WM strategy
• Study of liquid waste treatment
• Disposal options and safety assmt


Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP
To-date results:
DOE/IPP
Belarus Gvnmt
BNL: 1997-99
IPEP: 1997-99
SCK-CEN: 1997-99
Phytoremediation Projects
RISØ: 1997-98
European Comssn
• Study of phytoextraction by crops
• Study of phytoextraction by short rotation coppice
• Study of phytomass yield for energy


Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP
To-date results:
US Industry
USDOE/IPP
Belarus Gvnmt
NREL: 1997-98
SNLs: 1995-99
IPEP: 1995-99
RISØ: 1997-98
Biomass Conversion Projects
EP: 1997-98
FSL: 1997-98
Danish EPA
• Feasibility and economical study
• Resource assessment
• Aerosol capture efficiency study
• Combustion test for litter and duff
• Dose and risk study, WM strategy
• Conceptual design of power plant
• Environment and biodiversity

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Concept of the Projects:

- Stripping of bark and external layers of logs and their valorization as a biofuel
- Valorization of contaminated wood (>0.7 Bq/g), woody waste, litter and duff (4-6 cm thick) as a biofuel
- Felling debris may be chipped and scattered around place of felling to restore organic layer
- Reforestation or short rotation technology after decontamination
- Phytoremediation of abounded land and valorization of phytomass obtained

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Remediation Pathways:

~~Burdensome total decontamination~~

⇩

Dose reduction at once

- Operation with contaminated resources under ecologically sound and economically incentive conditions

⇩ ⇩

Clean economic values Consequent dose reduction

⇩

Financing for cost effective remediation

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

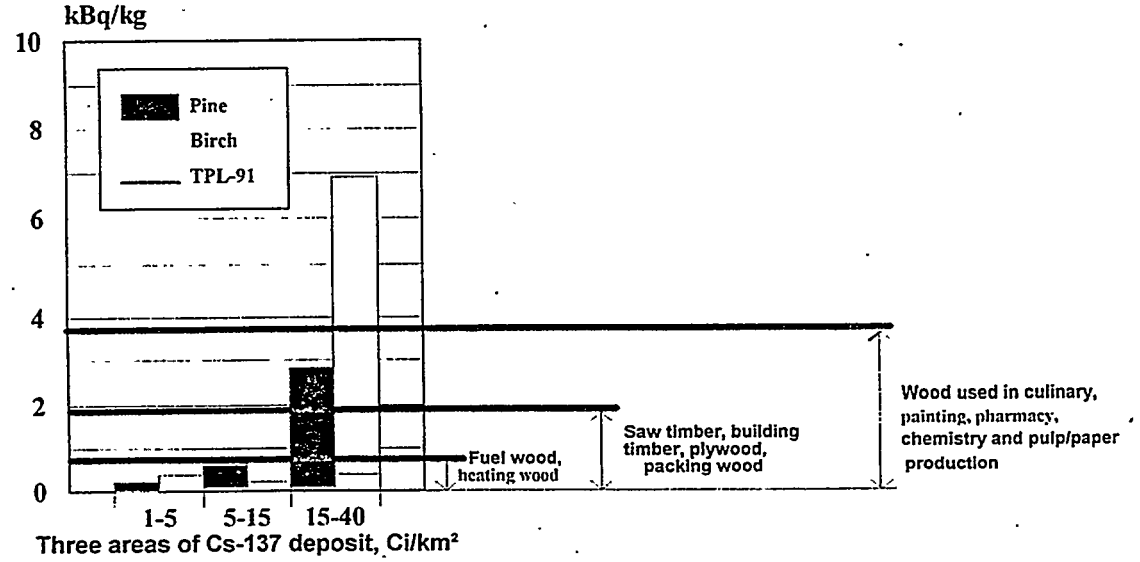
General Objectives:

SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL REMEDIATION:

- To provide a feasible way for affected lands to be returned back to normal use
- To evaluate biomass resources and valorization technologies to be used
- To elaborate cost effective waste management technologies
- To assess possible doses to population and personnel
- To estimate associated economical and social effect
- To evaluate threat or benefit to environment

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

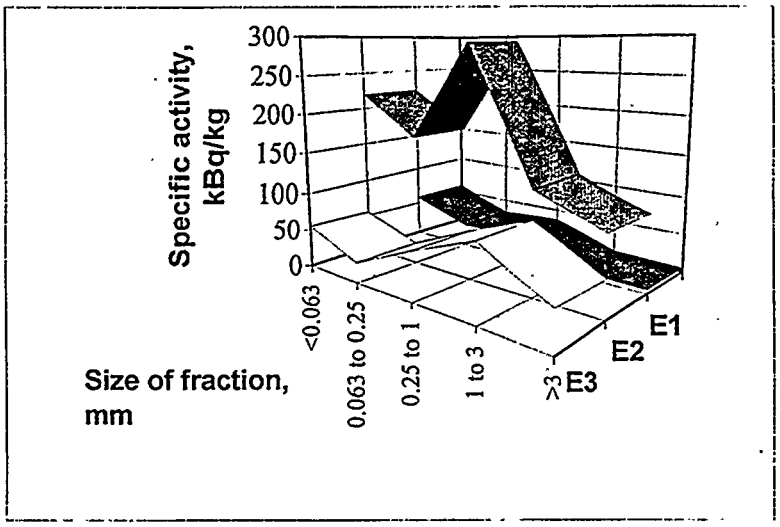
Background information:



Specific activity of valuable wood (bark stripped tree stem)

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Background information:



Distribution activity *versus* fractions of litter matter:
E1 -Fresh litter; E2 -Duff; E3 -Humus up to A1 soil horizon

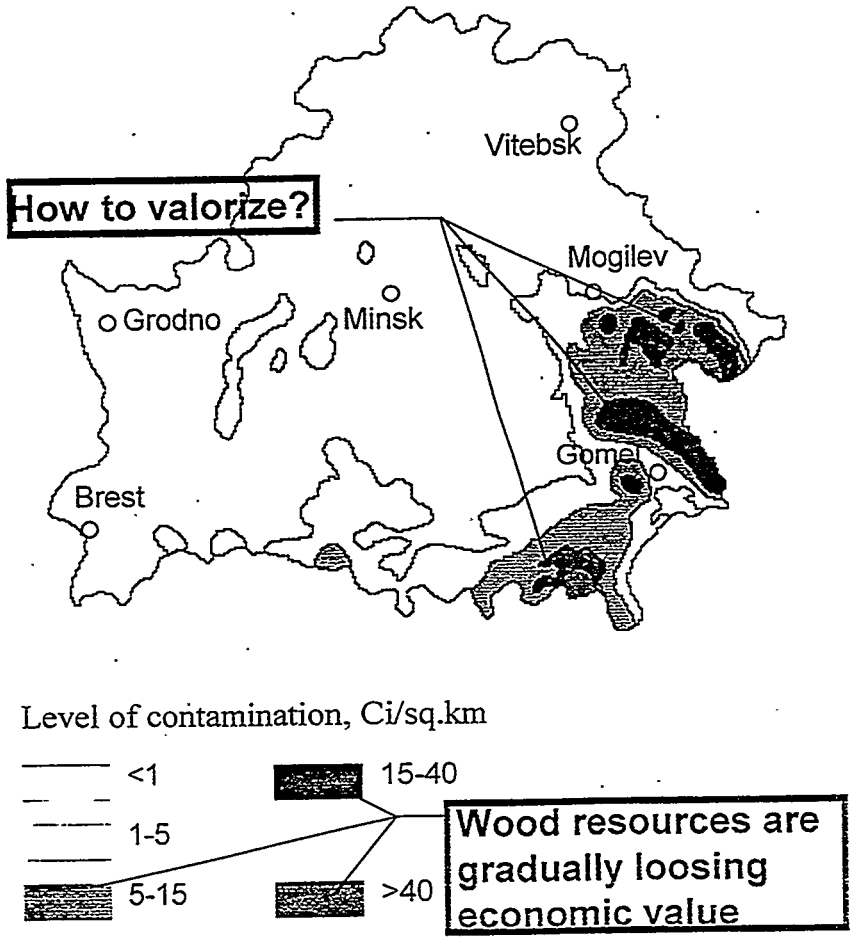
Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Background information:

- Contaminated territories: About 2 million people, more than 20 cities and 3,000 villages, the best agricultural lands, 17,000 km^2 of forest, a number of the most energy intensive industries
- Lack of financing, social problems, and regional energy deficit
- Restrictive countermeasures do not work
- Logs from contaminated area end in a furnace
- Energy equivalent of Belarus total wood fuel resources is 1.5 million tce/year
- Energy equivalent of contaminated biofuel resources is estimated as 0.5 million tce/year

Overview of Cooperation Projects, IPEP

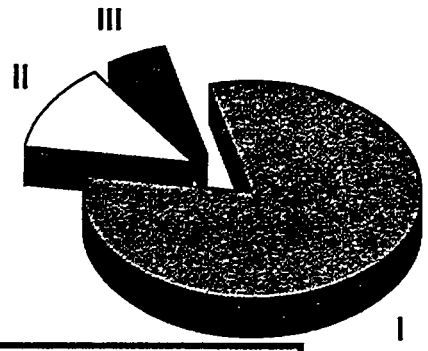
Background information:



Distribution of caesium-137 in soil as of January 1, 1998

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Background information:



How to reduce N^{O} I ?

I Cost due to countermeasures and remediation;

II Direct and indirect losses;

III Lost profit

Structure of damage caused by the Chernobyl Accident in the period until 2015

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

- Background information and General objectives
- Remediation pathways and Concept of the projects
- To-date results:
  - Phytoremediation projects
  - Biomass conversion projects
  - Waste management projects
  - Energy efficient demonstration zone project

Overview of International Cooperation Projects Involving IPEP

Biomass Valorization and Remediation of Contaminated Land:

pis/pcs:

Larry Baxter	SNLs	USA
Ralph Overend	NREL	USA
Paul Kalb	BNL	USA
Terry Sullivan	BNL	USA
Mark Fuhrman	BNL	USA
Jørn Roed	RISØ	Denmark
Helle Junker	Elsamproject	Denmark
Ebbe Bøllehouse	FSL	Denmark
Hildegarde Vandenhov	SCK-CEN	Belgium
Sasha Grebenkov	IPEP	Belarus
Anatoly Yakushau	IPEP	Belarus

Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone Environmental Management Issues

Thomas Early
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee

ABSTRACT

For a biomass/energy production project of the size and complexity proposed for the Chornobyl Exclusion Zone (CEZ), a systems approach is essential to ensure that all of the components are efficiently integrated, and interactions among them are carefully considered. In addition to the major processes (phytoremediation, biomass production and conversion, power production and utilization, and waste management), many additional elements (***enabling factors***) need to be considered for the project to be successful. These elements include formal programs of cost-risk-benefit analysis, health and safety (for workers and the public), and environmental management. The latter factor is the subject of this presentation.

Of the many environmental management issues that need to be considered, I will focus on three:

- Soil contamination and migration,
- Water balance,
- Groundwater contamination.

Many excellent studies of ^{137}Cs and ^{90}Sr behavior in the diverse soil types found in and around the CEZ have been completed by scientists in Ukraine, Russia, Belarus, and elsewhere. The investigations illustrate that vertical migration rates of contaminants are a function of the radionuclide, soil type, and vegetation. For example, ^{137}Cs is sorbed more tightly than ^{90}Sr, the mobility of both contaminants is higher in organic-rich soils than in sandy loam, and coniferous forests result in faster contaminant migration in soils than deciduous forests. Lysimeter studies illustrate the importance of vertical transport through soils due to factors other than sorption (e.g., resulting from formation of organic complexes, colloids, and particulates). Understanding migration rates and transport processes through the soil column is important for defining the potential effectiveness of biomass for intercepting and either stabilizing or removing contaminants.

A related consideration is the concern that any surface disturbance associated with biomass cultivation might result in increased soil erosion and transport of contaminated sediments to streams, rivers, and reservoirs. Different options for cultivating, weed control, and other maintenance activities in biomass plantations must be assessed for their ability to reduce erosional transport of contaminants.

To increase the potential effectiveness of plantation biomass production for stabilizing and extracting ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soil of the CEZ, it is important to maximize growth by use of irrigation and fertilizer and limit competition with weeds by use of herbicides. Application of water and fertilizer by drip irrigation is an attractive alternative, but if irrigation water is provided by production wells, the impact of pumping on the groundwater system will need to be

evaluated. Careful monitoring will be necessary to assess any impacts of plantation biomass activities to the elevation of the groundwater table, groundwater flow directions, and discharges to local streams and rivers. High biomass production, evapotransporation, and irrigation will provide challenges to maintaining the overall water balance of the plantation region. In addition, a monitoring program will be necessary to determine the infiltration of a range of contaminants associated with this activity (e.g., nitrate, herbicides, as well as ^{137}Cs and ^{90}Sr).

Infiltration from waste-disposal trenches has already seriously contaminated groundwater underlying portions of the Red Forest with ^{90}Sr. Following the accident, approximately 800 unlined disposal trenches were excavated in this area and received a variety of contaminated wastes. The location of many of these trenches is no longer known. Reportedly, many of the trenches have been flooded by a rising groundwater table caused by a combination of harvesting trees killed by the accident (greatly reducing evapotranspiration) and constructing flood control dikes along the flood plain of the Pripyat River (interfering with groundwater discharges to the river). The flooded trenches appear to be the sources of groundwater contamination, and this illustrates the need to ensure that an effective groundwater monitoring network is available and that numerical models are developed to evaluate 1) contaminant migration pathways and rates, 2) the potential for discharges to surface water bodies, and 3) the design and impacts of potential mitigation measures.

More importantly, there is a need to locate the disposal trenches in the Red Forest that are contributing to groundwater contamination with an ultimate goal of stabilizing the waste in place. This action will greatly reduce or eliminate the trenches as a continuing source of contamination. Use of special types of remote sensing data is proven as an effective means of finding lost trenches at ORNL. Likewise, grouting of trenches with micro-fine cement has been shown to be an effective way to stabilize the waste and greatly reduce continued groundwater contamination. Similar actions might be possible in the CEZ.

Finally, it might be possible to couple groundwater remediation with biomass production in the Red Forest area to accomplish two complementary goals simultaneously. For example, extraction of groundwater contaminated with ^{90}Sr followed by decontamination by passing it through treatment media such as zeolite (e.g., clinoptilolite) may permit the water to be used directly for irrigating plantation crops.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Вопросы охраны окружающей среды в предлагаемом Украинско–Американском проекте для Чернобыльской Зоны отчуждения по восстановлению при помощи растительности и выработке электроэнергии

Томас Эрли
Окриджская Национальная Лаборатория, Ок-Ридж, штат Теннесси

ВЫДЕРЖКИ

Для проекта по биомассе / производству энергии такого размера и сложности, как предлагаемый для Чернобыльской Зоны отчуждения, чрезвычайно важен системный подход, который необходим для того, чтобы обеспечить эффективное интегрирование всех компонентов и принять во внимание взаимодействие между ними. Помимо основных процессов (восстановления при помощи растительности, производства биомассы и ее преобразования, выработки и утилизации электроэнергии и обращения с отходами) для того, чтобы проект стал успешным, необходимо принять во внимание множество дополнительных элементов (***создающих возможность факторов***). Эти элементы включают в себя официальные программы анализа стоимости – риска - выгоды, охраны здоровья и безопасности (работников и населения) и мероприятия по охране окружающей среды. Предметом настоящего доклада является последний из этих факторов.

Из множества вопросов охраны окружающей среды, которые необходимо учитывать, я остановлюсь на трех:

- Загрязнении почвы и миграции
- Водном балансе
- Загрязнении подземных вод.

Учеными Украины, России, Беларуси и других стран было проведено множество отличных исследований поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr в разнообразных типах почвы, которые можно обнаружить в Чернобыльской Зоне отчуждения и вокруг нее. Исследования продемонстрировали, что скорость вертикальной миграции загрязняющих веществ зависит от радионуклида, типа почвы и растительности. К примеру, ^{137}Cs сорбируется более прочно, чем ^{90}Sr, мобильность обоих элементов загрязнения в богатой органическими веществами почве выше, чем в песчаном суглинке, и в хвойных лесах миграция загрязняющих элементов в почве происходит быстрее, чем в лиственных лесах. Лизиметрические исследования демонстрируют важность вертикального перемещения через почву в результате иных чем сорбция факторов (к примеру, являющегося результатом формирования органических комплексов, коллоидов и частиц). Понимание скорости миграции через почвенный слой и процессов транспортировки представляет важность для определения потенциальной эффективности биомассы для перехвата и либо стабилизации, либо удаления загрязняющих веществ.

С этим связана обеспокоенность в том, что любое возмущение поверхности, связанное с культивацией биомассы, может приводить к повышению эрозии почвы и переносу загрязненных осадочных пород в ручьи, реки и водные резервуары. Необходимо произвести оценку различных вариантов культивирования, борьбы с сорняками и других хозяйственных мероприятий на предмет их возможности снижать связанный с эрозией перенос загрязняющих веществ.

Для повышения потенциальной эффективности производства насаждаемой биомассы с целью стабилизации и извлечения ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве Чернобыльской Зоны отчуждения важно максимально увеличить рост растений путем использования орошения и внесения удобрений и ограничить конкурирование с сорняками путем применения гербицидов. Привлекательным вариантом является внесение воды и удобрений капельным орошением, однако, если вода для орошения поставляется из эксплуатационных скважин, то потребуется проведение оценки воздействия выкачивания воды на систему подземных вод. Потребуется тщательный контроль для оценки любых влияний мероприятий по возделыванию биомассы на уровень подземных вод, направление движения подземных вод и сбросы в местные ручьи и реки. Высокий объем производства биомассы, суммарное испарение и орошение будут представлять сложности для поддержания общего водяного баланса на возделываемых площадях. В дополнение к этому, будет необходима программа контроля, предназначенная для определения инфильтрации ряда загрязняющих веществ, относящихся к данной деятельности (например, нитратов, гербицидов, а также ^{137}Cs и ^{90}Sr).

Инфильтрация из рвов, используемых для захоронения отходов, уже привела к серьезному загрязнению ^{90}Sr подземных вод под отдельными участками Рыжего Леса. Вслед за катастрофой на этой территории было вырыто приблизительно 800 беспорядочно расположенных рвов для захоронения, в которые поступило разнообразие загрязненных отходов. Место расположения многих из этих рвов более неизвестно. Как говорят, многие из этих рвов оказались затоплены подъемом уровня подземных вод, вызванного комбинацией рубки погибших в результате катастрофы деревьев (что значительно снизило суммарное испарение) и строительством сдерживающих сток воды дамб вдоль зоны затопления реки Припять (что стало препятствием для оттока подземных вод в реку). Представляется, что затопленные рвы являются источником загрязнения подземных вод, что демонстрирует необходимость наличия разветвленной сети контроля за состоянием подземных вод и разработки ряда моделей для оценки 1) путей и скорости миграции загрязняющих веществ, 2) вероятности оттоков в расположенные на поверхности водоемы и 3) организации и влияний потенциальных мер борьбы с этими процессами.

Еще более важно обнаружить использовавшиеся для захоронения рвы в Рыжем Лесу, которые вносят загрязнения в подземные воды, с конечной целью стабилизирования отходов на своем месте. Такая работа существенным образом снизит или прекратит поступление загрязняющих веществ из этих рвов. Зарекомендовавшими себя эффективными средствами нахождения потерянных рвов в Окриджской Национальной Лаборатории является использование специальных типов дистанционного сбора данных. Таким же образом, заливка рвов цементом с особо мелкими частицами зарекомендовало себя в качестве эффективного способа стабилизации отходов и значительного снижения

загрязнения подземных вод. Такие же работы могут быть возможными в Чернобыльской Зоне отчуждения.

В заключении, может оказаться возможным соединить восстановление подземных вод с производством биомассы в Рыжем Лесу с тем, чтобы добиться выполнения обоих взаимодополняющих задач одновременно. Например, извлечение подземных вод, загрязненных ^{90}Sr, с последующей их дезактивацией путем пропускание через такую дезактивационную среду, как цеолит (например, клиноптиолит), может позволить использовать воду напрямую для орошения возделываемых культур.

Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone

Environmental Management Issues

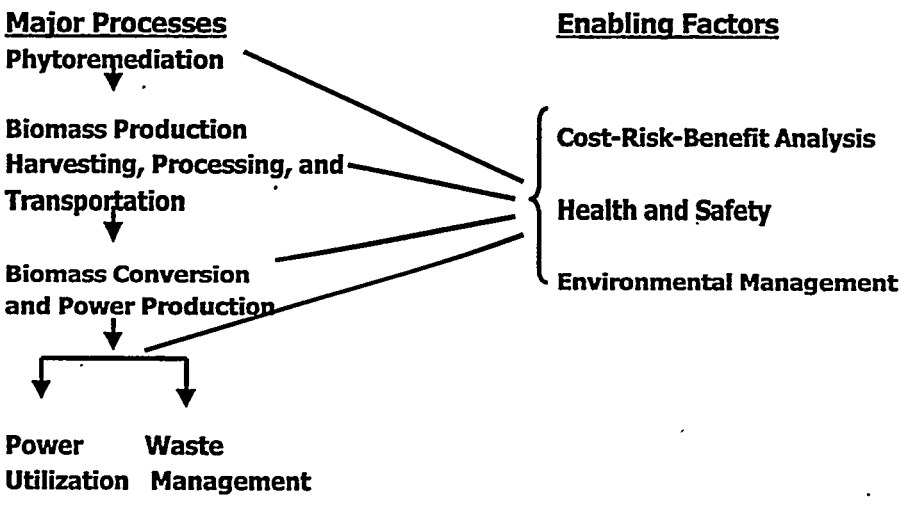
Tom Early

Oak Ridge National Laboratory

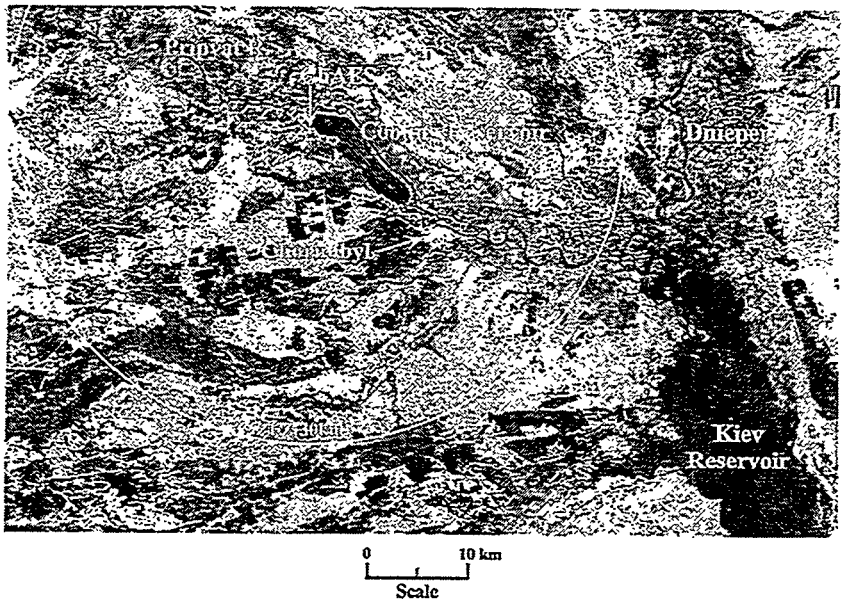
Oak Ridge, Tennessee (USA)

February 23-25, 1998

A Systems Approach to Remediation and Power Production



Spaceborne Imaging Radar: C- and X-band SAR
October 1, 1994 (Space Shuttle Endeavour)



Environmental Management Issues:
Planting, Cultivating, and Harvesting of Biomass

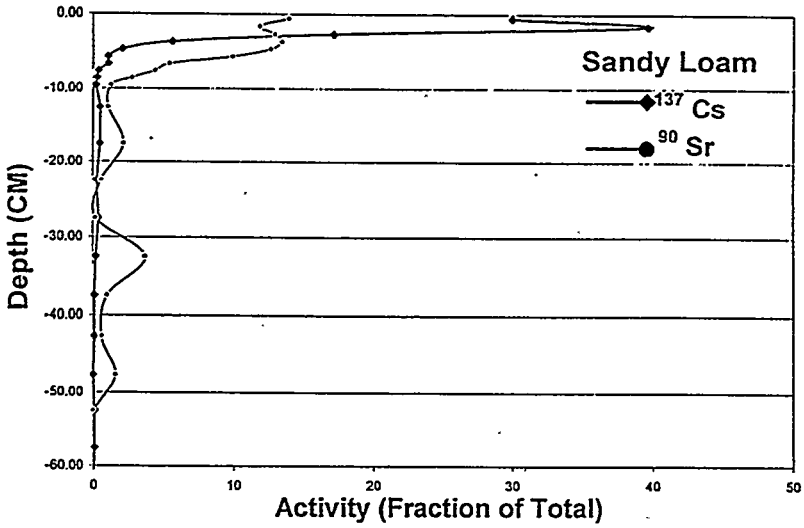
- **Migration rates of contaminants in soils**
  - ^{90}Sr, ^{137}Cs, other radionuclides
  - Soil amendments and pesticides
- **Monitor and maintain an appropriate water balance**
  - Pumping and irrigation
  - Evapo-transpiration losses
- **Limit erosion and surface transportation of contaminants to surface water bodies**

Environmental Management Issues:
^{137}Cesium and ^{90}Migration in Soils

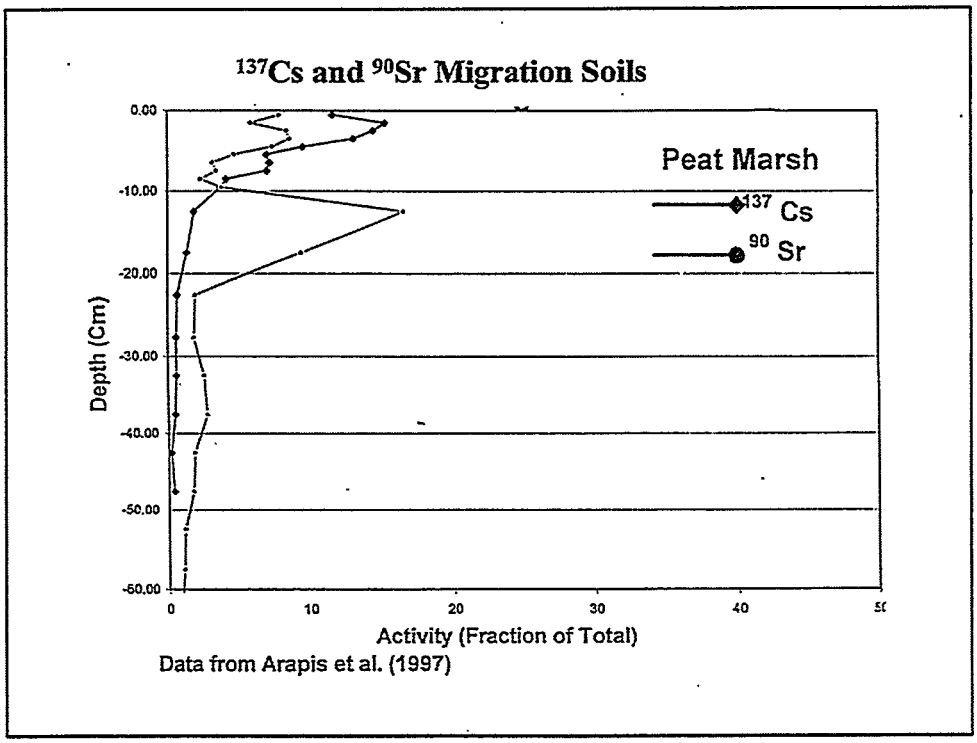
— Migration rates are a function of:
- Radionuclide (^{90}Sr > ^{137}Cs)
- Soil types (e.g. sandy loam vs peat)
- Vegetation type (e.g. coniferous vs deciduous forest)

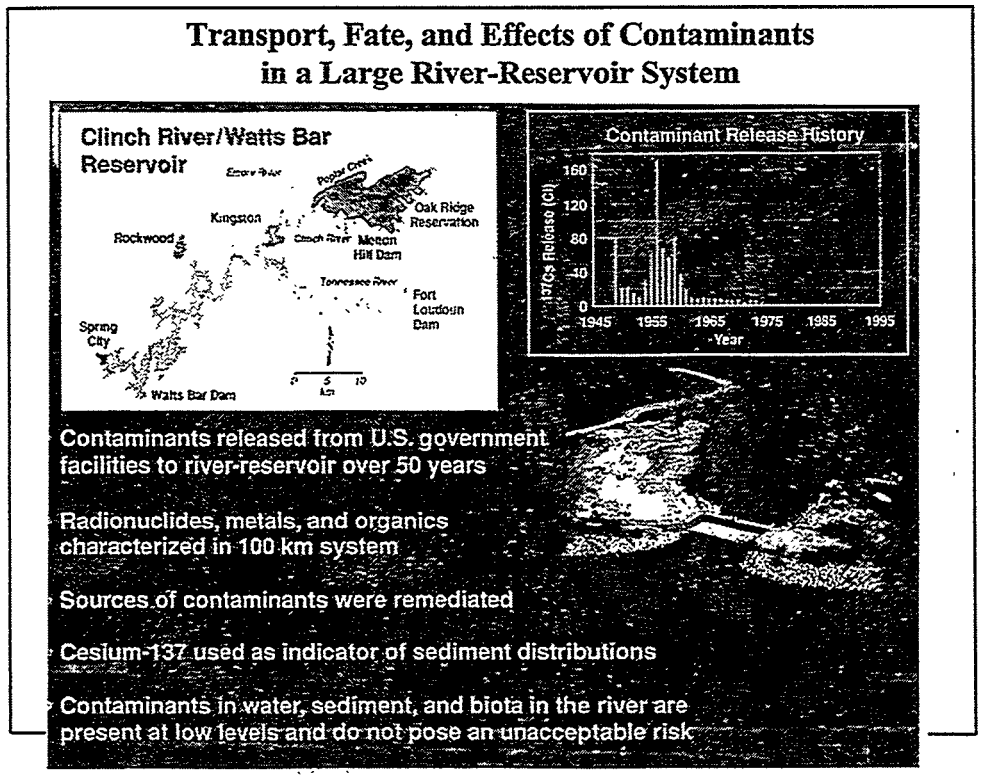
— Lysimeter studies (Kliashtorin et al., 1997) show that contaminant migration as particulates and/or organic complexes can be important.

^{137}Cs and ^{90}Sr Migration Soils



Data from Arapis et al. (1997)

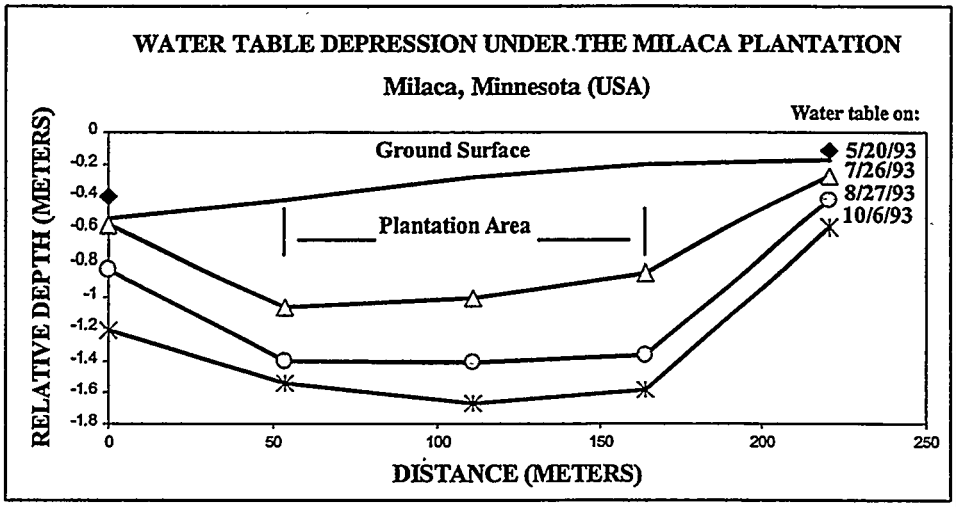




Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone

T. Early

Environmental Management Issues:
Water Balance



Environmental Management Issues:
Contaminated Groundwater

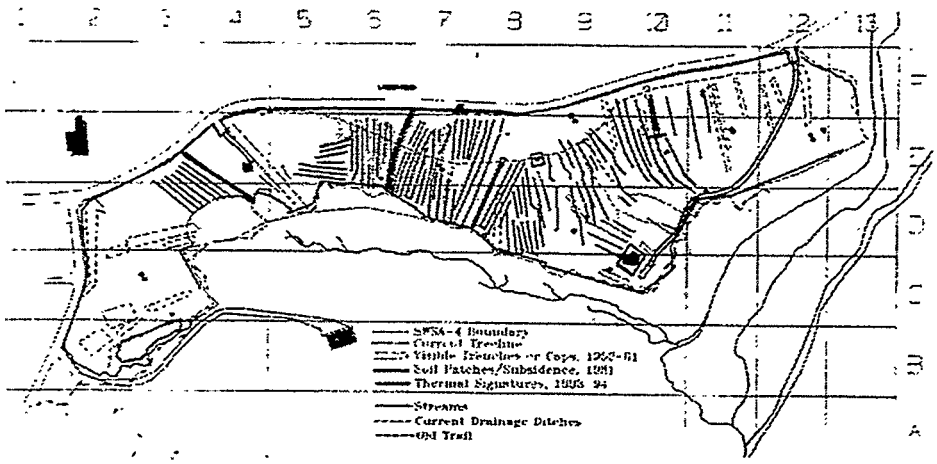
- **Determine the extent of contamination and direction and rate of migration**
- **Design and implement mitigation measures for:**
  - **Contaminated groundwater**
  - **Contamination sources (e.g. waste burial sites)**

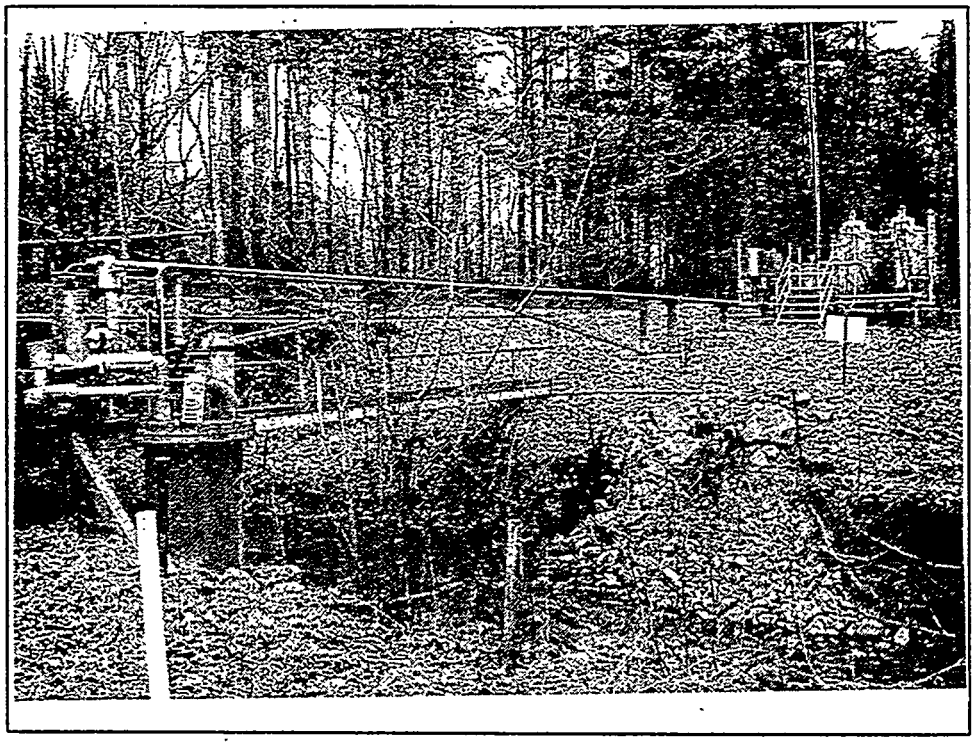
Below is a map of SWSA-4 produced from USRADS showing surface features of SWSA-4. The map is in the X-10 grid. All images were registered to this map. Overlaid on the map are key features extracted from the imagery.

•The Open Trenches noted in the imagery from 1952 to 1961 are outlined in magenta. The locational accuracy of these trenches are suspect due to the limited number of control points visible in the oldest images.

•The soil patches placed over subsiding areas in 1981 are brown as is the main trail which was used from 1956 onward and is still visible in thermal imagery. The locational accuracy of these features is very good.

•The cool signatures observed in thermal imagery were traced over with purple. Note that many of them correlated very well the the soil patches from 1981. The location accuracy of these features is also very good.

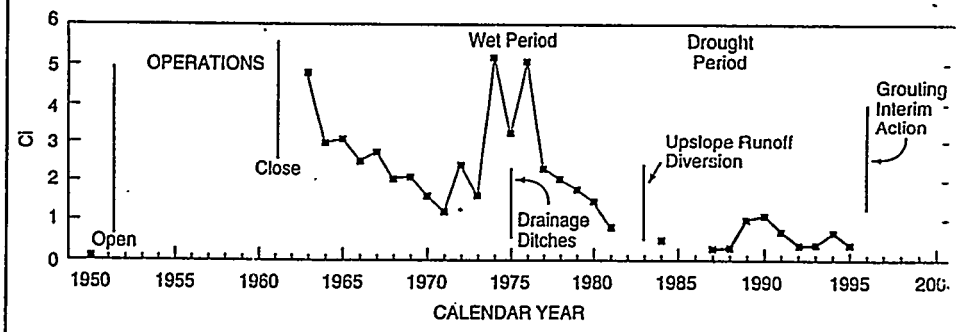




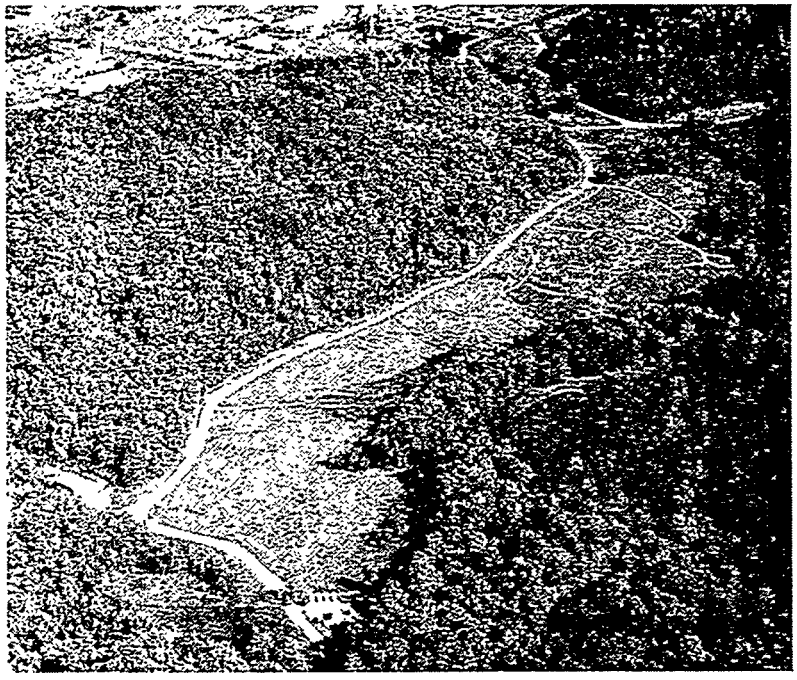
Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone

T. Early

ANNUAL STRONTIUM FLUXES*
Solid Waste Storage Area 4 Estimates



*Period 1963–1981 uses September 1–August 31 water year



Proposed Ukraine-USA Remediation and Power Production Project for the Chornobyl Exclusion Zone

T. Early

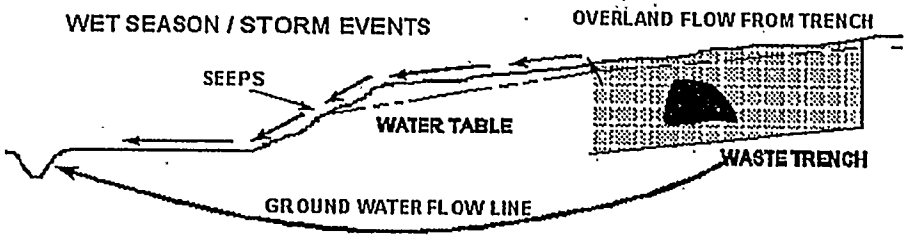
Environmental Management Issues

- **Runoff, erosion, redeposition, and contamination of surface water bodies**
- **Water balance**
- **Groundwater contamination**

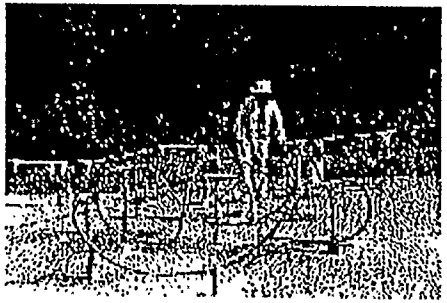
Summary

- Environmental management concerns should be addressed during the project assessment
- It is preferable to deal with environmental issues such as groundwater contamination and erosion control as part of an integrated systems approach rather than as separate problems
- It is possible to use available technologies and methods to address these issues. For example:
  - Trench location and stabilization
  - Water balance modeling
  - Groundwater monitoring, contaminant migration prediction, and remediation methods.

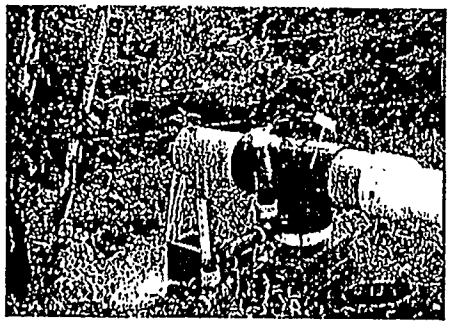
In-Situ Waste Encapsulation (in trenches)



WAG4 released 25% of all Sr-90 from ORNL until late 1996.



Multiple injections of particulate and chemical grouts were used to encapsulate wastes in saturated trenches.



Post-injection monitoring of seeps showed a 60% reduction of Sr-90 releases in the first six months following the grout emplacement.

For further information, contact: D.D, Huff
(423) 574-7859, e-mail: ddh@ornl.gov

The Prospects for Improving Effectiveness of Projects in the Chornobyl Exclusion Zone by Microbial Factor

Valery Ribalka
Chornobyl Center for International Research, Ukraine

ABSTRACT

Improving the effectiveness of the process of phytoremediation is one of the most important problems in implementing the project. While ensuring its high effectiveness, mankind will receive inestimable experience in eliminating nuclear catastrophes, which will no doubt have a positive effect on the future growth of nuclear power and on improvements of the ecology, not only in Ukraine, but in other countries.

This report examines problems in estimating forms of radionuclides in nature and in tracking their results. Based on experimental data obtained at the Chornobyl Scientific and Technical Center for International Studies on a sample of ^{144}Ce, it was demonstrated that traditional representations associating radionuclides in natural media may be detailed and used for developing prospective technologies in the area of phytoremediation. The adoption of decisions on the basis of data from real-life mechanisms contains great promise for success in implementing the goals of the project and in improving the effectiveness of processes of phytoremediation in general and not only in the Chornobyl Exclusion Zone.

The question of establishing the properties and priorities and the study of their conditions will be uppermost in our minds in the future. This is a complex task, but its resolution is important not only for us, but for many others. Here I would like to note the possibility of fruitful scientific cooperation with scientists from the United States, who are studying these same problems.

With the use of electron microscopy, processes of biotechnical corrosion of "hot particles" under the natural conditions of the Chornobyl Exclusion Zone were demonstrated. The results of continuing studies in this area give reason for optimism that, by the time the project becomes fully operational, technological solutions will be developed on the biotechnical transformation of nuclide contamination of the "hot particle" type into forms acceptable and proper for fauna. This will make it possible to improve the effectiveness of the project and to bring many areas of the Chornobyl Exclusion Zone into an ecologically safe condition within 20 years or sooner.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ; СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Перспектива повышения эффективности Проекта посредством фито-ремедиации в Чернобыльской Зоне отчуждения

Валерий Рыбалка
Чернобыльский Центр по международным исследованиям
Чернобыльская Центральная Лаборатория

ВЫДЕРЖКИ

Проблема повышения эффективности процесса фиторемедиации - одна из наиболее важных проблем в реализации Проекта. При обеспечении ее высокой эффективности человечество получит неоценимый опыт ликвидации ядерных катастроф, что безусловно положительно повлияет на дальнейшее развитие ядерной энергетики и улучшение экологии не только на .Украине, но и в других странах.

В докладе рассмотрены проблемы оценки форм радионуклидов в природной среде и трактовки результатов. На основании экспериментальных данных, полученных в ЧеНЦМИ на примере Се-144 показано, что традиционные представления по связыванию радионуклидов в природных средах могут быть детализированы и использованы для отработки перспективных технологий в области фиторемедиации. Принятие решений на основе данных по реальным механизмам содержит в себе большие перспективы для успеха реализации целей Проекта и повышения эффективности процессов фиторемедиации вообще, не только в Chornobyl Exlusion Zone.

Вопрос установления свойств приоритетно доступных форм и исследование условий их возникновения будет под нашим пристальным вниманием в ближайшее время. Это очень сложная задача, но ее решение важно не только для нас. Здесь хотелось бы отметить возможность плодотворного научного сотрудничества с учеными США, которые занимаются такими же проблемами.

С использованием электронной микроскопии показаны процессы биотической коррозии «горячих частиц» в природных условиях Chornobyl Exlusion Zone. Результаты продолжающихся исследований в этой области вселяют оптимизм, что к моменту практического ведения работ по Проекту в полном масштабе будут отработаны технологические решения по биотической трансформации нуклидного загрязнения типа «горячие частицы» в доступные и приоритетные для растений формы. Это позволит повысить эффективность Проекта и реально привести с его помощью многие участки Chernobyl Exlusion Zone в экологически безопасное состояние в пределах 20 и менее лет.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Перспектива повышения эффективности Проекта посредством фито-ремедиации в Чернобыльской Зоне отчуждения

Валерий Рыбалка
Чернобыльский Центр по международным исследованиям
Чернобыльская Центральная Лаборатория

Проблема повышения эффективности процесса фиторемедиации - одна из наиболее важных проблем в реализации Проекта. При обеспечении ее высокой эффективности человечество получит неоценимый опыт ликвидации ядерных катастроф, что безусловно положительно повлияет на дальнейшее развитие ядерной энергетики и улучшение экологии не только на .Украине, но и в других странах.

Микробиологический фактор - первичная основа биохимической трансформации соединений радионуклидов природных системах (почвах, донных отложениях, водах и т.д.). За кажущейся медлительностью и слабостью процессов, скрываются уникальная способность к росту: скорость удвоения биомассы от 15 мин. до 3 часов в оптимальных условиях; способность создавать ферменты для утилизации специфических и зачастую токсичных химических соединений, высочайшая радиационная стойкость(выживание отдельных видов в 1 контурах ядерных реакторов) и способность к спонтанным мутациям. Дикий почвенный биоценоз: бактерии, почвенные водоросли, простейшие, микрогрибы, насекомые (кстати, рассадники специфических бактерий) в первом приближении это несколько тысяч видов различных живых организмов - находится в состоянии непрерывного изменения. Состояние стабильности ценоза- это скорее вариант динамического равновесия. Каждую секунду в различных компонентах системы возникают тысячи специфических соединений, обладающих хелатообразующими свойствами. Специфические ферменты одних членов ценоза изменяют свойства продуктов метаболизма других членов ценоза. Органические вещества синтезируются из неорганических соединений, проходят сложный путь трансформации, часть их расходуется на процессы поддержания жизнедеятельности членов ценоза и превращается при этом в неорганические соединения. Безусловно, такой же трансформации подвержены и хелатные природные органические соединения, те самые, которые обеспечивают связывание радионуклидов, их подвижность, доступность растениям. Речь идет о способности микробиоты изменять формы радионуклидов в естественных ценозах.

Проблема усиления процессов фиторемедиации напрямую связана с понятием «формы радионуклидов» в почве. Удобное и простое на первый взгляд деление форм радионуклидов на водорастворимые, обменные, необменные приводит к сильной путанице в трактовке результатов. В самом деле, какие соединения с использованием традиционных методических подходов могут включаться в состав водорастворимых форм?

1. действительно растворимые неорганические соединения (например, $SrCl_2$, $Sr(HCO_3)_2$ и т.п.);

2. гидролизующиеся неорганические соединения

3. соединения с минеральной компонентой почвенной матрицы, способные к диссоциации; гидролизу или десорбции иона нуклида;

4. бактериальная слизь, содержащая как неорганические, так и органические соединения нуклида;

5. клетки бактерий, простейших с адсорбированными на поверхности радионуклидами;

6. бактериальные клетки с инкорпорированными радионуклидами,

7. остатки организмов (простейших, насекомых, водорослей и проч.),

8. вещества, классифицируемые как гуминовые;

9. продукты метаболизма (аминокислоты, жирные кислоты, оксикислоты, антибиотики белки);

10. ионные ассоциаты комплексов радионуклидов (с аминокислотами, жирными кислотами, оксикислотами, антибиотики, диамины и проч.) и молекулами белков, полисахаридов, фосфолипидов, аминополисахаридов и др.

Этот короткий и далеко не полный перечень включает в себя по, крайней мере тысячу конкретных возможных соединений - реальных водорастворимых форм ионов (нуклидов) в природном биоценозе. Совершенно очевидно, что в состав обменных форм также могут включаться соединения пп.2.3.4.5.6.7.8.9.10. Пожалуй только одна форма - радионуклиды в составе «горячих частиц» достоверно не входят в состав водорастворимых или обменных форм. В известных условиях формы 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10 могут быть классифицированы и как необменные. Какую же информацию несет «содержание нуклида в пробе «А»: 20% водорастворимых форм, 30% обменных форм, 50% необменных форм»? Практически все типы перечисленных соединений входят в зону интересов микроорганизмов и не могут рассматриваться в отрыве от свойств самих микроорганизмов. Тем более, что в числе этих свойств есть просто уникальнейшие, например, способность накачивать ионы через клеточные мембраны против градиента концентраций иона в конкретной системе.

Наиболее показательны в этом отношении является процесс принятия решения для оказания воздействия на ход усвоения/или неусвоения радионуклидов растениями. Классическое представление о том, что связывает радионуклиды в почве сводится к упоминанию гуминовых веществ и их высокого процентного содержания в почве. Для них определены связывающих функциональные группировки, рассчитаны константы диссоциации, и константы устойчивости комплексов с ионами практически всех химических элементов. При этом полностью не принимается во внимание тот факт, что например, для Sr-90 в количестве 1000Bq составляет ~ 10^{-10} M Sr^{2+} и для связывания вновь поступающего в среду радионуклида (а именно так обстоит дело с загрязнениями в Chornobyl Exlusin Zone-загрязнения локализованы в так называемых «горячих частицах») достаточно ~10^{-10} M вещества, способного образовывать прочный комплекс.

ЧеНЦМИ (Chornobyl Science & Technical Centre for International Research) совместно с МПП «ХимТехСервис» («Khimtechservice» Ltd) отработали и внедрили в практику исследований МЕТОД РАДИОХИМИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ для анализа связывающих свойств компонентов сложных субстратов

С использованием МЕТОДА РАДИОХИМИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ для нуклида Ce-144 графический имидж некоторых функциональных группировок гуминовых и фульвокислот может быть представлен на рис.1(остаток бензойной кислоты), рис.2 (остаток салициловой кислоты), рис.3(остаток иминодиуксусной кислоты). Но в тех же условиях метод показывает, что в ходе гумификации, например, листа березы всеми компонентами почвенного ценоза(!) продуцируются вещества совершенно иной связывающей природы - рис.4. Механизм удержания ионов Ce в этом случае совершенно другой. Проблема повышения эффективности процессов фиторемедиации как раз и состоит в том, что обычно практические шаги предпринимаются из расчета связывающих свойств системы типа 1,2,3. А фактически в ней реализован механизм связывания типа 4. Принятие решений на основе данных по реальным механизмам содержит в себе большие перспективы для успеха реализации целей Проекта и повышения эффективности процессов фиторемедиации вообще, не только в Chornobyl Exlusion Zone.

Большинство исследователей приходят к единству в вопросе предельной эффективности процесса фиторемедиации: «растения усваивают примерно 4% от водорастворимой формы радионуклидов». По нашим предварительным данным растения усваивают около 100% некоторых форм «Х» - назовем их «приоритетно доступными», общее содержание которых составляет примерно 4% от общего содержания водорастворимой формы. Вопрос установления свойств приоритетно доступных форм и исследование условий их возникновения будет под нашим пристальным вниманием в ближайшее время. Это очень сложная задача, но ее решение важно не только для нас. Здесь хотелось бы отметить возможность плодотворного научного сотрудничества с учеными США, которые занимаются такими же проблемами.

Еще одна специфика радиоактивных загрязнений в Чернобыльской зоне: основная масса загрязнения представлено в виде упоминавшихся «горячих частиц». Они обладают достаточно высокой химической и коррозионной стойкостью. Это представляет серьезную проблему при скрытии проб в ходе радиохимического анализа. В Chornobyl Exlusion Zone мы имеем очень большое число проб, радиоактивность которых даже сейчас, через 10 лет после аварии представлена почти на 100% именно горячими частицами. Иными словами содержание растворимых и обменных форм в них составляет менее 3-5% от общей активности пробы. И вопрос эффективности фиторемедиации будет в первую очередь обусловлен скоростью трансформации радионуклидов из горячих частиц в растворимые и доступные растениям формы. В исследовании механизма этой трансформации наметились положительные сдвиги. Нами обнаружены эффекты биотической коррозии горячих частиц. Примеры этого представлены на рис. 5, 6,7,8. Рис.5 (увеличение 1500Х) и рис.6 (увеличение 4000Х). - так выглядит неповрежденная поверхность «горячей частицы». Отверстия в кристаллах переплавившегося в ходе работы реактора ядерного топлива(1) вызваны выделением через расплав радиоактивных инертных газов. На рис. 7 (увеличение 3000Х) представлена частица со следами биоповреждения(2). На рис. 8 (увеличение 5000Х) представлен фрагмент «горячей частицы»со следами повреждения(3) и микроорганизм его

вызывающий(4). Интересно, что химическим травлением не удается получить повреждения «горячих частиц» с аналогичным видом. Результаты продолжающихся исследований в этой области вселяют оптимизм, что к моменту практического ведения работ по Проекту в полном масштабе будут отработаны технологические решения по биотической трансформации нуклидного загрязнения типа «горячие частицы» в доступные и приоритетные для растений формы. Это позволит повысить эффективность Проекта и реально привести с его помощью многие участки Chernobyl Exlusion Zone в экологически безопасное состояние в пределах 20 и менее лет.

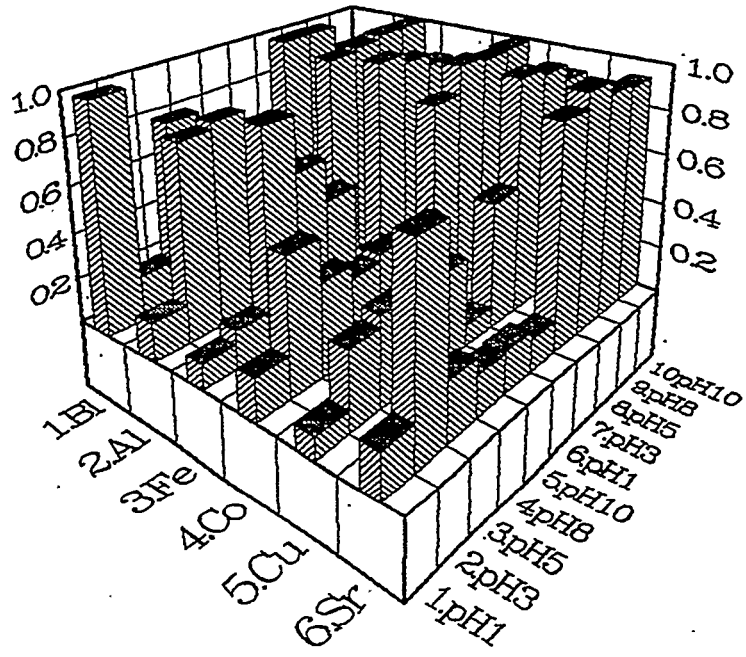


Рис.1. График сорбции Ce-144 модельным субстратом, содержащим остаток бензойной кислоты в условиях радиохимического тестирования.

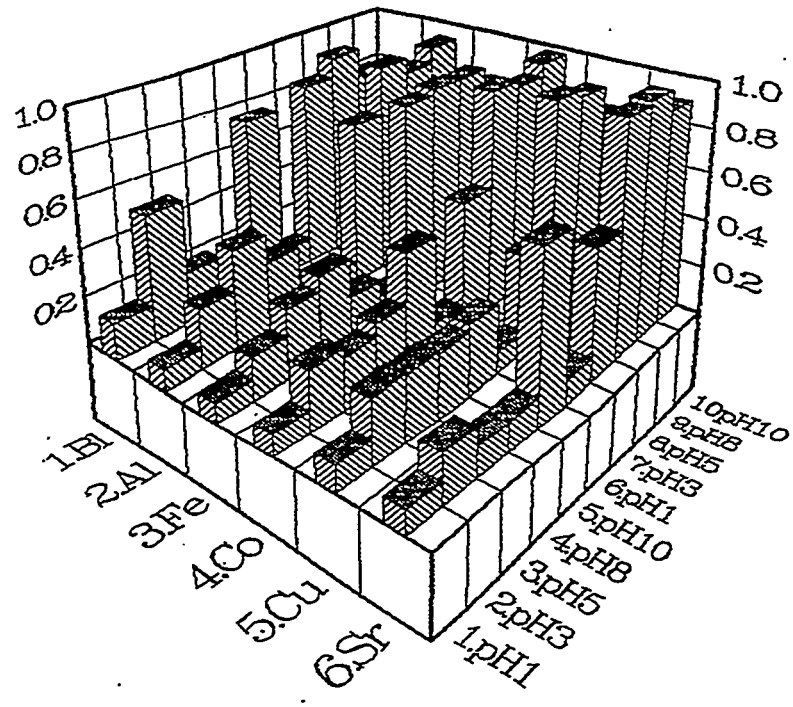


Рис. 2 График сорбции Ce-144 модельным субстратом, содержащим остаток салициловой кислоты в условиях радиохимического тестирования.

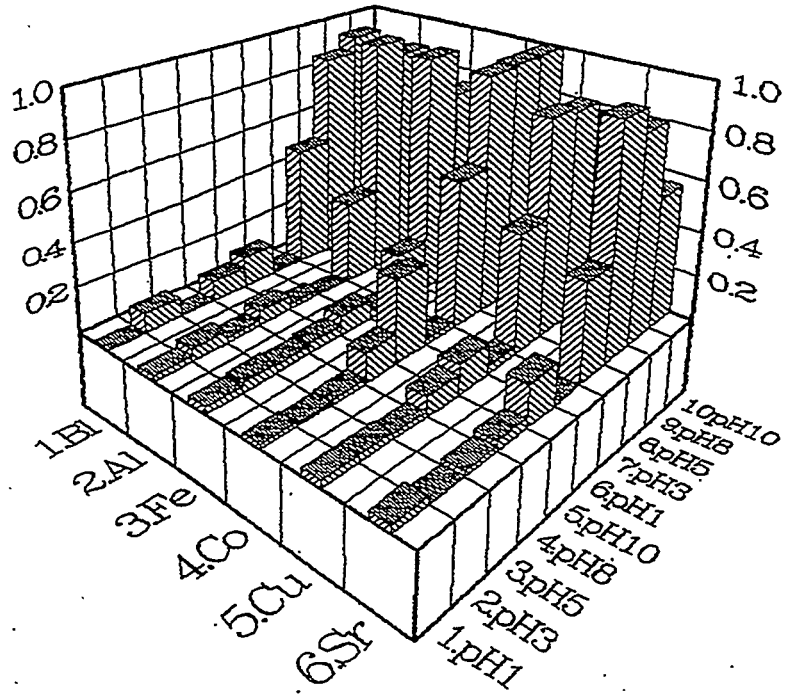


Рис. 3 График сорбции Ce-144 модельным субстратом, содержащим остаток иминодиуксусной кислоты в условиях радиохимического тестирования.

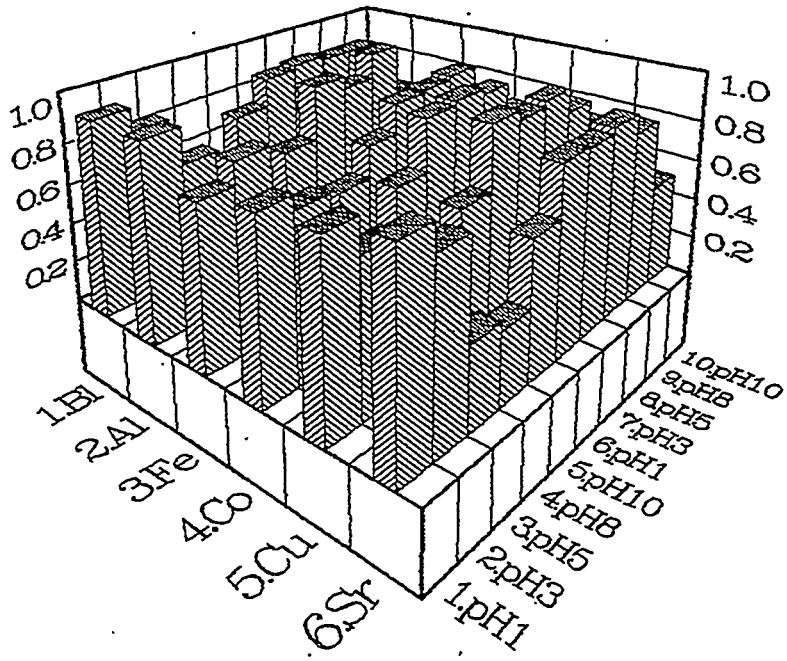
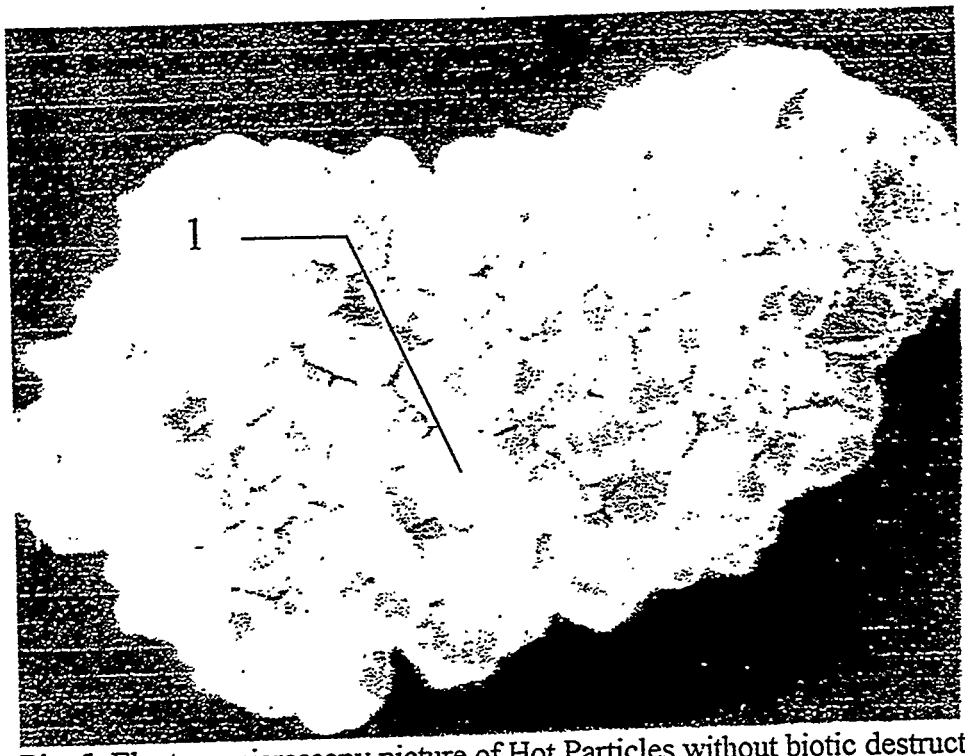
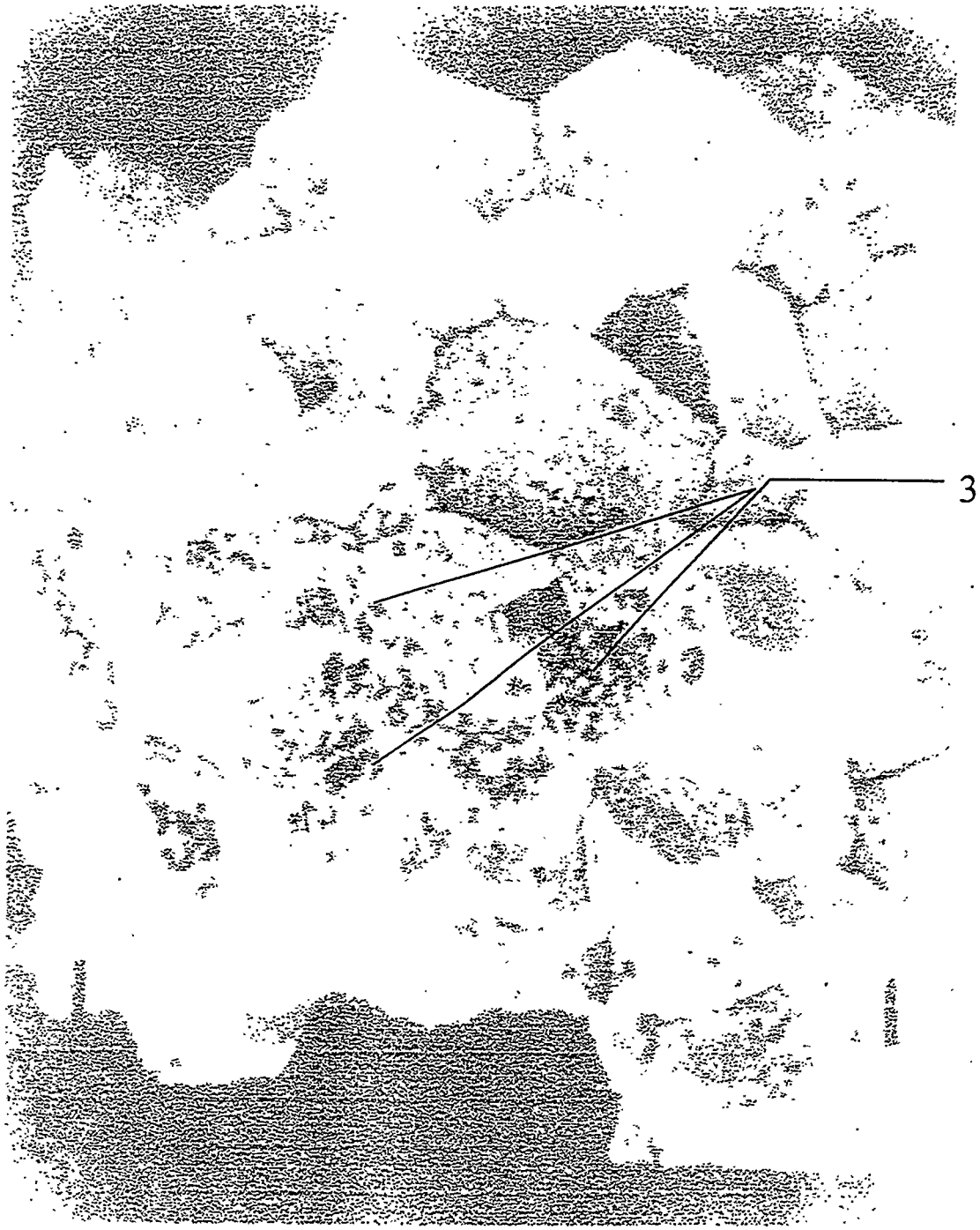


Рис. 4 График сорбции Ce-144 субстратом гумифицированного листа березы в условиях радиохимического тестирования

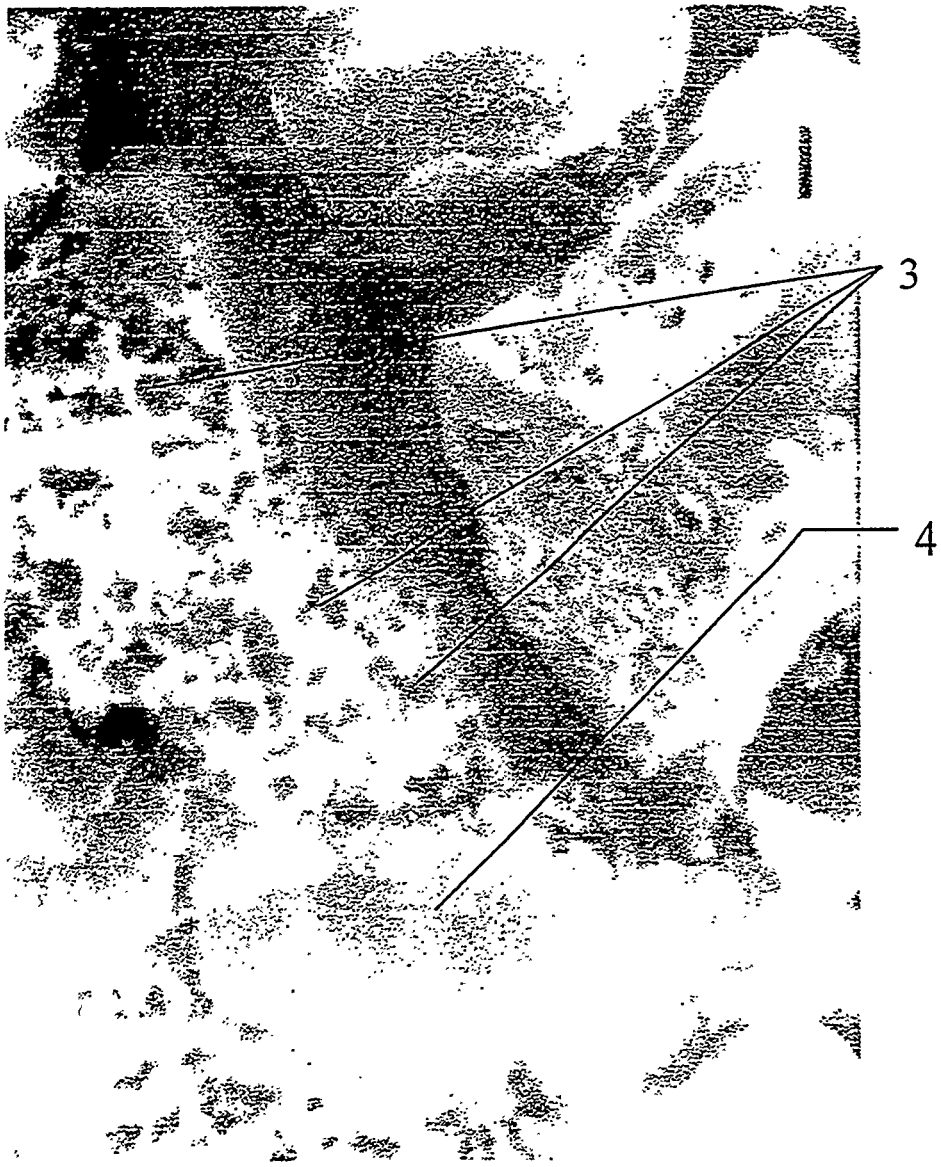


Pic. 5. Electron microscopy picture of Hot Particles without biotic destruction (1500X).

Pic. 6. Electron microscopy picture of Hot Particles without biotic destruction (4000X).



Pic. 7. Electron microscopy picture of Hot Particles with biotic destruction (3000X).



Pic. 8. Electron microscopy picture of Hot Particles with biotic destruction (5000X).

ECONOMICS AND FINANCIAL APPROACH

No Regrets Strategy for Commercialization of Non-Contaminated and Contaminated Biomass-to-Energy Projects in Ukraine and Belarus

Serge Adamian
Ecotrade, Inc., Glendale, California

ABSTRACT

Using biomass to produce energy and remediate Chornobyl-related contaminated lands requires extensive capital and risk-mitigation efforts. Ukraine and Belarus must rely on foreign sources to meet these types of capital needs. Since Ukraine and Belarus lack a track record in internationally financed energy projects, a viable incremental strategy is necessary to attract capital to commercial and cost-effective biomass-to-energy projects and remediation efforts. The "No Regrets Strategy" embodies coordinated and coherent planning and implementation steps that would build the in-country (Ukraine and Belarus) capacity and infrastructure for non-contaminated biomass energy projects, eventually leading to use of contaminated biomass on a commercial basis. Minimizing system costs, enhancing cost-effectiveness, commercial and technical viability, safety, protection of the environment, and social acceptability are the primary objectives/constraints of the strategy. Every step in the process starts on the learning, capacity building, and risk-mitigation curves at a higher point as compared to the previous steps while offering the opportunity to re-evaluate risks and the optimum strategy. This paper discusses the elements of the "No Regrets Strategy" and past and present investigations and lessons learned, and sets forth the Ecotrade et al. team's future plans for non-contaminated and contaminated biomass-to-energy projects.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ ПОДХОДЫ

Не вызывающая сожалений стратегия для коммерциализации проектов преобразования незагрязненной и загрязненной биомассы в энергию на Украине и в Беларуси

Серж Адамян
компания Ecotrade, Inc., Глендейл, штат Калифорния

ВЫДЕРЖКИ

Использование биомассы для выработки энергии и восстановления земель, подвергшихся загрязнению в результате Чернобыльской катастрофы, требует обширных усилий по капиталовложениям и снижению рисков. Украина и Беларусь вынуждены полагаться на зарубежные источники для удовлетворения потребностей в таких типах капиталовложений. Поскольку у Украины и Беларуси отсутствует послужной список проведения финансируемых международно–энергетических проектов, для привлечения капитала в коммерческие и эффективные по стоимости проекты преобразования биомассы в энергию и работы по восстановлению потребуется жизнеспособная стратегия постепенных шагов. «Не вызывающая сожалений стратегия » включает в себя координированное и последовательное планирование и шаги реализации, которые создадут внутри страны (Украины и Беларуси) возможности и инфраструктуру для проектов преобразования в энергию незагрязненной биомассы, приводя постепенно к применению на коммерческой основе загрязненной биомассы. Основными задачами и ограничивающими факторами стратегии являются сведение к минимуму стоимости систем, улучшение стоимостной эффективности, коммерческая и техническая жизнеспособность, безопасность, защита окружающей среды и социальная приемлемость. По сравнению с предыдущими шагами каждый новый шаг процесса начинается с более высоких точек кривых изучения, создания возможности и снижения рисков, давая, в то же самое время, возможность проведения переоценки рисков и оптимальной стратегии. Настоящая работа обсуждает элементы «Не вызывающей сожаления стратегии» и прошлые и настоящие исследования и вынесенные уроки, а также излагает будущие планы команды компании Ecotrade и др. по проектам преобразования в энергию незагрязненной и загрязненной биомассы.

NO REGRETS STRATEGY for Commercialization of Non-Contaminated and Contaminated Biomass-to-Energy Projects in Ukraine and Belarus

Serge Adamian
Ecotrade, Inc.
Glendale, CA

BELARUS BIOMASS POWER OPTION

PURPOSE

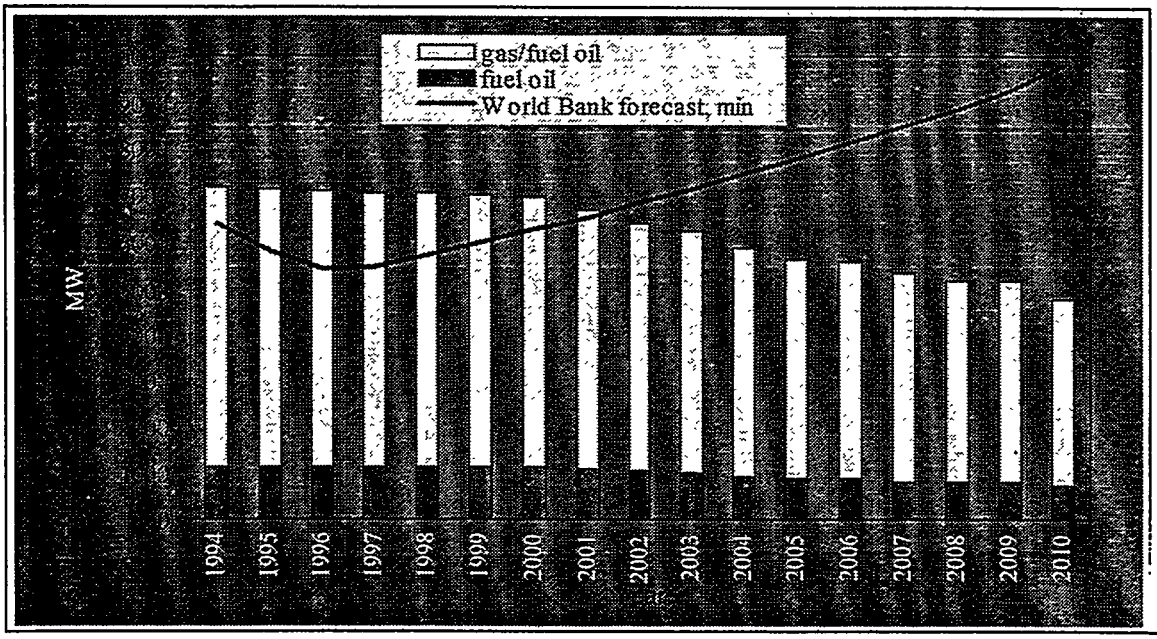
To conduct a pre-feasibility study for the development of a series of retrofit uncontaminated waste biomass-fired power generation projects in Belarus.

Challenges for Belarus:

- New state building
- Economic transition and restructuring
- Disruption of trade and payments with the former trading partners
- Sudden dependency on imported fuels for 90% of energy needs leading to energy shock
  - Uncertain imported energy supplies
  - Increasing prices for imported energy

- Aging thermal power generation "excess" capacity needs life-extension (5,500 MW needs replacement within 10-15 years) and domestic financial markets are unable to finance that replacement
- No track record in Belarus to finance commercial energy infrastructure projects by relying on global financial markets
- Chernobyl contamination

Installed Capacities



Solutions to the challenges related to energy shock:

- Make energy sector and industry more efficient
- Switch and displace imported fuels to increase reliance on domestic fuel resources. Biomass is practically the only indigenous energy resource available in large quantities in Belarus.
- Simultaneous life-extension, efficiency improvement, and biomass co-firing can be a cost-effective solution to the energy shock.

Solutions to the challenges related to decontamination:

- **Incremental no-regrets commercialization approach**
  - Biomass fuel collection
  - Biomass fuel transportation
  - Biomass fuel processing
  - Biomass fuel supply contracting and sustainability guarantees
  - Utility scale biomass combustion
  - Optimum ownership setups for the conversion facility
  - Tariff negotiation, power sales contracting, and guarantees
  - Financing

- **Expansion of non-contaminated Biomass infrastructure already set up for the uncontaminated biomass**
  - Contaminated biomass combustion
  - Contaminated biomass collection
  - Capture of ash
  - Disposal of ash

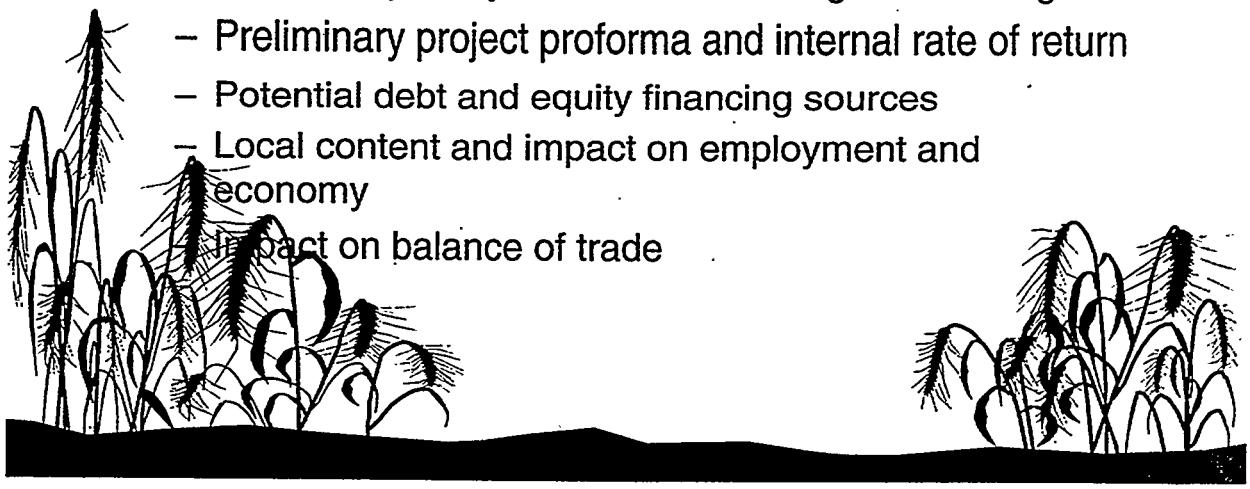
METHODOLOGY

- **Waste Biomass Resource Assessment**
  - Belarus
  - Minsk Oblast
  - Vitebsk Oblast
  - Project site, supply logistics, pricing, and sustainability issues
  - Planning for GIS

- **Technical, Engineering, and Design Information for the Project Site and the Selected Technology for Retrofit**
  - Technologies for retrofit and costs
- **Environmental Assessment Including Impact on Forest Health and Biodiversity**

■ Business and Financing Issues

- Optimum ownership structure(s) for the project
- Potential utility and/or captive clients and their creditworthiness
- Anticipated power sales price and total revenues for the project
- Preliminary analysis of risks and mitigation strategies
- Preliminary project proforma and internal rate of return
- Potential debt and equity financing sources
- Local content and impact on employment and economy
- Impact on balance of trade



ECONOMICS AND FINANCIAL APPROACH

To-Date Infrastructure for Biomass-to-Energy Conversion in Belarus

A. Grebenkov
Institute of Power Engineering Problems, Belarus

ABSTRACT

Bioenergy conversion is a new industry to the Ukraine. They must be aware of many new infrastructure needs. An extensive list of infrastructure concerns was presented.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ ПОДХОДЫ

Современная инфраструктура для преобразования биомассы в энергию в Беларуси

А. Гребеньков
Институт Энергетических Проблем, Беларусь

ВЫДЕРЖКИ

Преобразование биомассы в энергию является новой для Украины отраслью. Занимающиеся планированием специалисты должны быть знакомы со многими новыми потребностями инфраструктуры. Был представлен обширный перечень таких потребностей для инфраструктуры.

International Cooperation Projects Involving IPEP

TO-DATE INFRASTRUCTURE FOR BIOMASS-TO-ENERGY CONVERSION IN BELARUS

IPEP, Belarus
FSL, Denmark
IAE, Inc., USA
SNLs, USA

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

ASH ENCAPSULATION

- Characterization of radioactive ash after combustion
- 1.5 tons of radioactive ash were shipped to BNL (USA)
- Pilot scale tests of different matrix and technologies
- The best cost effective results:

  Recycled polymers (plastics) + mechanical extruding = 30-35 MPa strength, 10-5 g/cm2day liching rate, 75% of ash loading

ASH TRANSPORTATION

- There are several options which exist (container, trucks, etc)

ASH DISPOSAL

- Relatively or very simple, depending on waste form
- 170,000 m3 of simple repositories are in Belarus exclusion zone

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

FUEL PREPARATION AND STORAGE

- In-forest chipping of debris, unconditioned wood, and underwoods to provide reliability and sustainability of fuel supply
- On-site chipping at a sawmill
- Power plant on-site chipping

ASH MANAGEMENT

- 0.7-1.0 tons/hour
- Final waste form
  - plastic bag, or
  - stabilized form

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

RELIABILITY AND SUSTAINABILITY OF RESOURCES

- Forest health and biodiversity
- Wood harvest structure
- Wood consumption structure
- Transport means

TRANSPORT AND ROADS (very important!)

- Fuel consumption is about 35 t/hr (20-25 MWe boiler)
- Wood chips transport truck of 80 m^3 each 5-10 minutes
- Wood consumption structure
- Road network is well developed, but...
- Forest roads (non appropriate), highway (appropriate), plant site's road (non appropriate)

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

FUEL RESOURCES

Total potential:

- presently 1.5 million tec/year
- prognosis 3.4-4.0 million tec/year

Technically available for retrofitting at specified sites:

- Minsk Province 238.91 thousand tce/year
- Vitebsk Province 255.97 thousand tce/year
- Gomel Province 302.44 thousand tce/year

The main sources of fuel:

- more than 600 forestry enterprizes (70%)
- About 4,000 sawmills (30%)

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

MAIN COMPONENTS

"Clean" components:

- Techniques to provide reliability and sustainability of fuel supply
- Transport means
- Road infrastructure
- Fuel preparation
- Fuel storage
- Combustion technologies

"Contaminated" components:

- Ash management technologies
- Disposal facilities

Infrastructure for Biomass Conversion, IPEP

GENERAL ISSUES

Approach:

- Infrastructure for **clean** biomass conversion
- Additional components for **contaminated** biomass conversion

Today the relevant infrastructure is very weak

- A few high productive machines for forestry and fuel preparation
- Low load capacity transport means
- Well developed but inappropriate roads
- Ash transportation (a few container and trucks)
- Waste disposal facility of small volume

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

PRELIMINARY RESULTS:

Exposure from routine forestry and recreation:

- Forestry worker - 3-6 mSv/year (ext), 0.2-1.5 mSv/year (int);
- Resident - 1.9-2.5 (ext), 0.2-0.5 (int).

Exposure from domestic use of firewood:

- Resident - < 0.1 mSv/year (ext); < 0.01 mSv/year (int)

Exposure posed by use of ash as a fertilizer:

- Resident - < 0.01 mSv/year (ext); < 0.01 mSv/year (int).

Exposure from forest fire (excluding background exposure):

- Worker (fireman) - < 0.1 mSv/year (ext); < 0.1 mSv/year (int).

Exposure from biomass fired boiler and ash management:

- Worker - is to be less than 1 mSv/year (total);
- Resident - is to be less than 0.1 mSv/year (total).

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

THE MODELS USED:

FORESTPATH or FORESTLIFE (developed by IPEP + others)
- Prognosis of radionuclides migration in forest ecosystem

MCNP4A (provided by LANL, modified by IPEP)
- External exposure dose rate

LOCMIGR (developed by IPEP)
- Transport of radionuclides released from furnace and forest fire

RESRAD (provided by BNL)
- Inhalation dose from the sub-micron particles and ingestion dose

DOZA (developed by IREP)
- Multi-cameral model for inhalation dose

COSYMA (provided by RISØ National Laboratory)
- Transport of radionuclides released from furnace and forest fire

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

ACTIVE SCENARIOS

Scenario 4: Exposure from ash residues management and disposal:
- External exposure from collection, packaging (immobilization) and transportation procedures;
- External exposure from disposal facility;
- Internal exposure due to ground and surface water pathways.

Scenario 5: Exposure from biomass fired facility:
- External exposure from facilities while operation, maintenance and decommission;
- Internal exposure from chimney.

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

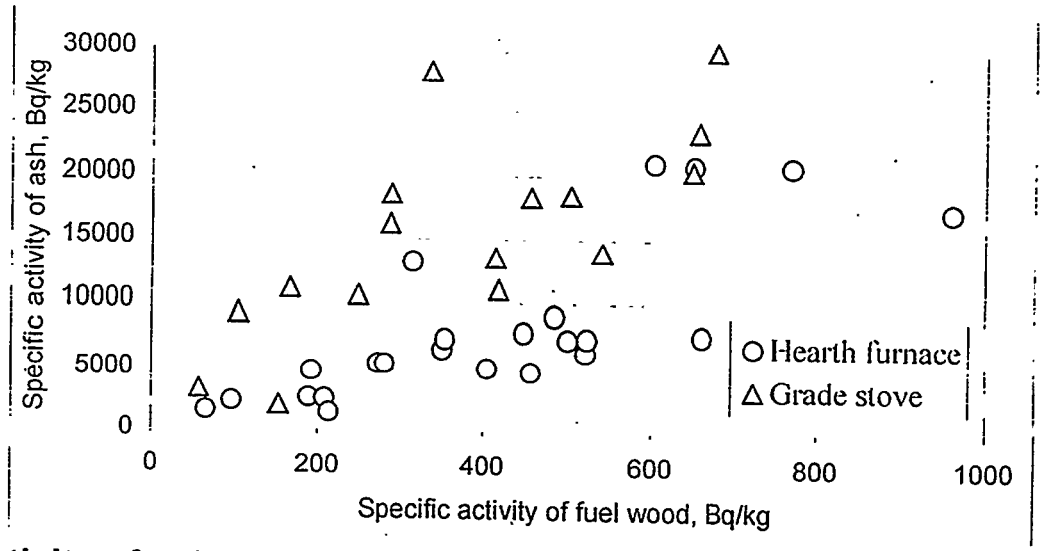
FOREST FIRES:

Forest fires and area enveloped in fires (as of November 1)

Year	Number of fires	Forest land, *ha*	
		Total	of which covered with forest
1990	2471	1022	995
1991	1517	310	270
1992	8121	20412	19841
1993	1887	1253	1252
1994	3052	2106	1511
1995	3257	5645	3780
1996	4123	7043	6962

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

DOMESTIC USE OF FIREWOOD:



Activity of ash *versus* activity of fuel wood and furnace design

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

Scenario 2a: Exposure posed by domestic use of firewood:

- Direct exposure from trees and ground when collecting firewood;
- Direct external exposure from a stove and hearth;
- External exposure from ash residues handled;
- Inhalation from a chimney and while handling hearth ash.

Scenario 2b: Exposure posed by use of ash as a fertilizer:

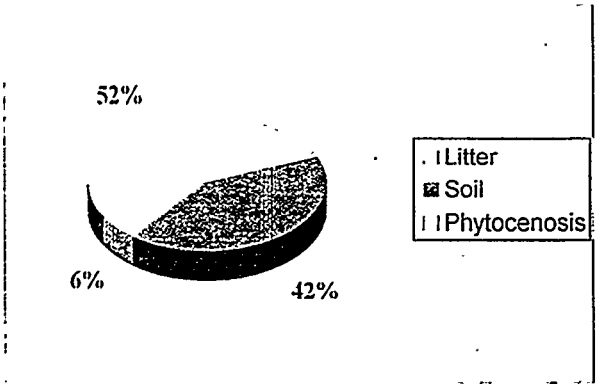
- External exposure from a garden;
- Ingestion from garden products pathway;
- Groundwater/surface water pathway;

Scenario 3: Exposure due to forest fire

- External exposure from deposition;
- Inhalation of airborne particles;
- Ingestion from food chain.

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

FORESTRY AND RECREATION



Contribution of different parts of ecosystem to exposure dose rate

- Exposure time is limited according to regulation
- Work is carried out in condition of accidental visit of different contamination level
- The EDR is proportional to level of contamination
- No physical protection is used
- Forest food consumption is the same as before Accident

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

BASELINE SCENARIOS:

Scenario 1a: Exposure due to routine forestry:

- External exposure from trees and ground;
- Inhalation of airborne dust;
- Ingestion from forest food pathway.

Scenario 1b: Exposure due to recreation:

- External exposure from trees and ground;
- Ingestion from forest food pathway.

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

GENERAL CONCEPT

Assumptions:

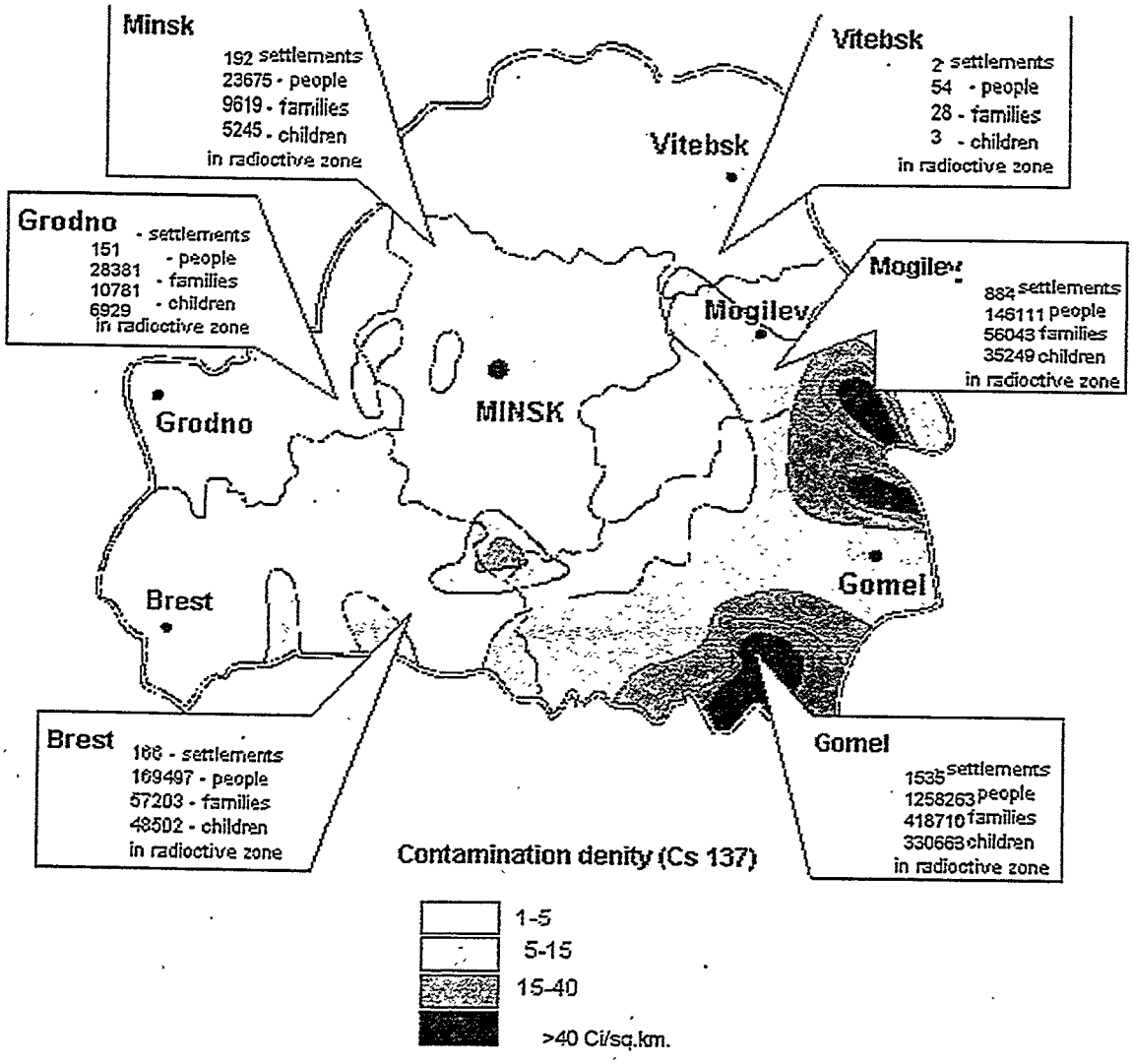
- Essential part of radiological risk have been eliminated
- Economical and social contexts have changed
- Contamination has changed (fixation, penetration deep in soil, *etc.*)
- Long term consequences of the accident affect more social and economic sectors

Approaches:

- Maximally exposed individual's effective annual dose;
- Collective dose to forestry personnel, residents; and power plant staff during operational time

Evaluation of Radiological Doses, IPEP

CONTAMINATION AS OF 1996



To-Date Infrastruction for Biomass-to-Energy Conversion in Belarus

A. Grebenkov

Phytoremediation projects, IPEP

MAIN RESULTS:

***Sallex (four species)*:**

- Accumulation coefficient = 0.405 (^{137}Cs);
- First year harvest yeild = 1.4 kg/m^2

***Brassica juncea* and *Ammaranthus retroflexus*:**

- Accumulation coefficient = 0.27 (^{137}Cs) and 31.2 (^{90}Sr);
- First year harvest yeild = 0.12 kg/m^2

Sakhalin buckwheat:

- Accumulation coefficient = 2.63 (^{137}Cs) and 0.24 (^{90}Sr);

Phytoremediation projects, IPEP

PLOT DESCRIPTION:

***Sallex (four species)*:**

- Soddy-podzolic sandy soil on glacial associated sand superseded with loose sand, 0.5 ha, April 1997;
- Peaty-marsh soil of lowland type on medium-thick well decomposed sedge-reed-woody peat, 0.5 ha, April 1997

***Brassica juncea* and *Ammaranthus retroflexus*:**

- Soddy-podzolic, loose loamy sandy soil on glacial associated sand superseded with loose sand, 0.2 ha, June 1997

Sakhalin buckwheat:

- Soddy-podzolic gleic, on glacial associated sand superseded with alluvial sand, 0.2 ha, June 1997

Basic Principles in Providing Radiation Safety in the Exclusion Zone

V.N. Yanshin
State Enterprise of Regional Environmental Monitoring and Dosimetry Control (DP RADEK), Chornobyl

ABSTRACT

The system of dosimetry control on the territory of the Chornobyl Zone was characterized. A system was presented for dividing the territory of the Chornobyl Zone into zones with varying radiation situations. Requirements for radiation safety in each of these zones and methods for providing this safety.were described.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ

Основные Принципы Обеспечения Радиационной Безопасности В Зоне Отчуждения

Яншин В.Н.
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль

Охарактеризована система дозиметрического контроля на территории Чернобыльской зоны. Приведена схема деления территории Чернобыльской зоны на зоны с различной радиационной обстановкой. Описаны требования к радиационной безопасности в каждой из этих зон и принципы ее обеспечения.

Основные Принципы Обеспечения Радиационной Безопасности В Зоне Отчуждения

Яншин В.Н.
Государственное предприятие регионального мониторинга окружающей среды и дозиметрического контроля (ДП «РАДЕК»), г. Чернобыль

К настоящему времени на территории зоны отчуждения сформировались санитарно-режимные зоны, отличающиеся плотностями радиоактивного загрязнения почвы, чем обуславливаются различия радиационной обстановки в этих районах.

Введение зональности территории зоны отчуждения отвечает основным радиационно-гигиеническим принципам организации работы с радиоактивными веществами и позволяет улучшить мероприятия по обеспечению радиационной безопасности персонала; а также препятствует техногенному распространению радиоактивных загрязнений как внутри зоны, так и за ее пределы.

Зонирование территории осуществлено с учетом преобладающих видов производства, мест их расположения.

Зоны представляют собой следующее:
1 зона включает территорию, расположенную в пределах 10 км радиуса вокруг ЧАЭС. На этой территории численные величины радиационных параметров наиболее велики. В 1 зоне сосредоточены производства, связанные со сбором, удалением и захоронением РАО аварийного происхождения, дезактивацией оборудования, материалов, спецодежды, зданий, сооружений, территории.

Все эти работы в основном ведутся по специальным разрешениям - дозиметрическим нарядам, а в некоторых случаях по отдельно разработанным программам и охвачены 100% радиационным контролем.

2 зона (буферная) включает территорию от границ 10 км зоны до внешних границ зоны отчуждения. Во второй зоне ведется радиационный контроль за уровнями радиоактивного загрязнения производственных, административных зданий, сооружений, расположенных в них рабочих мест.

Периодичность и объем радиационного контроля определен регламентом, который согласован с местными органами санитарного надзора.

3 зона (жилая) включает часть городской территории г. Чернобыля, на которой размещены общежития с прилегающими территориями, объекты общественного питания и торговли, социально-культурного и медико-санитарного назначения. Радиационный контроль в 3-й зоне проводится в соотвествии с утвержденным регламентом.

4 зона - территория вахтового поселка Зеленый Мыс. В настоящее время вахтовый поселок ликвидируется. Радиационный контроль проводится по разовым заявкам.

5 зона - территория отдельных населенных пунктов в Киевской и Житомирской областях Украины, жители которых были эвакуированы в 1986 году.

Санитарно-правовой режим на этих территориях осуществляют местные органы самоуправления.

С целью препятствования распространению радиоактивных загрязнений на границе 1-й и 2-й зон установлен контрольно-дозиметрический пост (КДП) «Лелев». На этом посту обязательному радиационному контролю подвергаются все транспортные средства, выезжающие из 10-км зоны, а также вывозимые из нее грузы.

в этом же районе сосредоточены:
пункт специальной обработки (дезактивации) техники и грузов в случае, если их радиоактивное загрязнение выше контрольных уровней;

резервный блок санитарных пропускников, обеспечивающий, в случае необходимости, замену спецодежды, дезактивацию кожного покрова и принудительный радиационный контроль персонала, выезжающего из 1-й зоны.

На внешних границах зоны отчуждения оборудованы 4 стационарных КДП:
Дитятки,
Диброва,
Парышев,
Страхолесье.

На этих постах организован принудительный радиационный куонтроль абсолютно всех транспортных средств, выезжающих из зоны отчуждения, вывозимых из зоны грузов, одежды и обуви людей, покидающих зону отчуждения. На КДП *«Дитятки»* и *«Парышев»* (Киевское и Славутичское направления) радиационный контроль ведется круглосуточно.

Кроме сказанного выше, все грузы, вывозимые за пределы зоны отчуждения проходят предварительный контроль в г.Чернобыле перед погрузкой и отправкой в место назначения.

В 1992-1994 годах нам пришлось сотрудничать с Европейской комиссией по научным исследованиям в области радиационной защиты. Специалистами Комиссии существующая в зоне отчуждения система обеспечения радиационной безопасности была в целом одобрена.

Data and Soil Chemistry Models of Changes in the Bioavailability of Strontium and Cesium as a Function of Time after Disposition

Victor Dolin
Scientific-Production State Enterprise «Vidrodzhenya»,
National Academy of Sciences of Ukraine

Data and soil chemistry models of changess in the bioavailability of strontium and cesium as a function of time after disposition. Current models accurately predict the change in bioavailability of cesium and strontium as a function of time. Such information is important because it directly relates to the potential uptake of radionuclides into the food chain as well as into phytoremediation plants. By using the knowledge base already present, which includes detailed soils maps and detailed contamination maps the author could assist in the assessment of potential land uses within the CEZ as a function of time. Because the models contain physico/chemical variables, changes in phytoremediation potential can be assessed for different soil amendments such as watering, different forms of nitrogen, magnesium, etc. Additional model calibrations may be required for plants with more biologically active root zones than the typical forest trees or food plants that have already been studied.

Модель данных и почвенно–химическая модель изменений биоаккумулирования стронция и цезия в зависимости от времени после захоронения

Виктор Долин
Государственное Научно–производственное предприятие «Видродженя»,
Украинская Государственная Академия Наук

Были представлены модель данных и почвенно–химическая модель изменений биоаккумулирования стронция и цезия в зависимости от времени после захоронения. Существующие модели точно предсказывают изменения в биоаккумулировании цезия и стронция по времени. Такая информация представляет важность в силу своего прямого отношения к потенциальному поглощению радионуклидов в пищевой цепочке, а также используемыми для восстановления растениями. Опираясь на представленную базу знаний, включающую детальные почвенные карты и детальные карты загрязнения, автор смог оказать помощь в оценке потенциального землепользования в рамках ЧЗО в зависимости от времени. Поскольку модели содержат физико–химические переменные величины, изменения в потенциале восстановления при помощи растительности могут оцениваться с точки зрения таких различных свойств почвы, как ее влажность, содержание различных форм соединений азота, магния и т.д. Для растений с более активными корневыми зонами, чем у обычных лесных растений или у уже изучавшихся кормовых растений, может потребоваться дополнительная калибровка моделей.

ECONOMICS AND FINANCIAL APPROACH

Preliminary Technical and Economic Feasibility Study of the Joint Project

Vladimir Tokarevsky
Technocentre, Ukraine

ABSTRACT

Enterprises of the Chornobyl Exclusion Zone annually consume 36 kWt hours of electrical power and 160,000 Kcals of fuel energy. The budget of Ukraine expends 18.4 million grivna annually on energy (about $10 million USD).

Energy consumption in the Exclusion Zone in the upcoming years will increase for the following reasons: 1) the commissioning of Vektor complex (~15 million kWt hours and 4,000 Kcals); 2) commissioning of the Vektor–based Center for reprocessing and disposition of radwastes (about the same power consumption); 3) commissioning of plants for the remelting of contaminated metal (power requirements are now in the estimate stage); 4) support in the decommissioning of the Chornobyl NPP; and 5) implementation of the plan of basic measures at the Shelter Facility. Estimates of power consumption for the last two points have not been conducted. Finally, 40 % of all thermal energy in the Exclusion Zone comes from the Chornobyl NPP, where at this time power unit 3 is generating power. With its repair or shut–down, especially in the winter period, there will be a huge shortage in thermal energy.

Thus, in order to perform Environmental Restoration procedures in the Exclusion Zone and to gather and dispose of radwastes, additional sources of thermal and electrical energy are required.

The implementation of the joint project will make it possible to solve problems of thermal and electrical power supply to enterprises of the Exclusion Zone, considering the possible doubling of power consumption.

When calculating economic indicators of the project, the following factors will be considered: 1) in the first stage, radioactive timber biomass, stocks of which exceed 250,000 cubic meters, will be used as raw material; 2) as phytoremediation technology unfolds, new processes of the combined use of the entire biomass in the production of bioproducts, biofilters, and raw power will be developed; 3) the process of phytoremediation itself leads both to the production of renewable energy sources and to the return of cleaned lands for agricultural use.

In the final analysis, the primary indicator will be the cost or clean–up of these lands, multiplied by the gains in time through accelerated phytoremediation.

A factor of equal importance will be the lowering of the collective dose of the population of Ukraine through the lowering of the release of radionuclides beyond the boundaries of the Exclusion Zone.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ ПОДХОДЫ

Предварительная технико–экономическая оценка совместного проекта.

Владимир Токаревский
Техноцентр, Украина

ВЫДЕРЖКИ

Предприятия Чернобыльской зоны отчуждения ежегодно потребляют 35 млн. КВт. часов электроэнергии и 160 тыс. Гкал тепловой энергии. Из государственного бюджета Украины на эти цели расходуется 18,4 млн. гривень в год (т. Е. Около 10 млн. долларов США).

Энергопотребление в зоне отчуждения в ближайшие годы возрастет по следующим причинам: 1) ввод в эксплуатацию комплекса "Вектор" (~ 15 млн. кБт. час и 4,0 тыс. Гкал); 2) ввод в эксплуатацию на базе комплекса "Вектор" Центра переработки и захоронения РАО (примерно такое же энергопотребление); 3) ввод в эксплуатацию Предприятия по переплавы загрязненного металла (энергопотребление в стадии оценки); 4) обеспечение процесса снятия с эксплуатации ГАЭС и 5) реализация Плана основных мероприятий на объекте "Укрытие". Оценки энергопотребления по последним двум пунктам не проводились. Наконец, 40 % всей тепловой энергии зона отчуждения получает от Чернобыльской АЭС, где в настоящее время вырабатывает энергию Блок № 3. При его ремонте или остановке, особенно в зимний период, возникает большой дефицит тепловой энергии.

Таким образом, для выполнения работ в зоне отчуждения по локализации последствий аварии, по сбору и захоронению радиоактивных отходов требуются дополнительные источники тепловой и электрической энергии.

Реализация совместного проекта позволит решить проблемы тепло– и электроснабжения предприятий зоны отчуждения с учетом возможного удвоения энергопотребления.

При расчете экономических показателей проекта будут учитываться следующие факторы: 1) на первом этапе в качестве сырья будет использоваться радиоактивная древесная биомасса, заготовленные запасы которой превышают 250 тыс. куб. м; 2) по мере разворачивания фиторемедиационной технологии будут отрабатываться новые процессы комплексного использования всей биомассы для получения биопродуктов, биофильтров и энергосырья; 3) сам процесс фиторемедиации приводит как к производству возобновляемого источника энергии, так и к возврату очищенных земель для использования населением.

В конечном итоге основным показателем станет стоимость полученных чистых земель, умноженная на выигрыш во времени за счет ускоренной фиторемедиации..

Таким же по важности фактором будет уменьшение коллективной дозы населения Украины за счет уменьшения выноса радионуклидов за пределы зоны отчуждения.

CHORNOBYL PHYTOREMEDIATION AND BIOMASS ENERGY CONVERSION WORKSHOP
Slavutych, Ukraine
FEBRUARY 23-25, 1998

Presenters

Adamian, Serge
Ecotrade, Inc.
220 South Kenwood St, Suite 305
Glendale, CA 91205-1671
svadamian-ecotrade@worldnet.att.net
Phone: 818-240-4500
Fax: 818-240-4501

Anderson, Haywood
International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GG 30067
iae@atlanta.com
iae@mindspring.com
Phone: 770-955-8284
Fax: 770-955-8194

Arkhipov, Andrei N.
Chornobyl Scientific Center for International Research
Ukraine
255620 Chornobyl
ul. Shkolnaya 6
Phone (380 4493) 52201
Fax (380 4493) 52064

Baxter, Larry
Sandia National Laboratory
MS9052
7011 East Avenue
Livermore, CA 94550
baxter@sandia.gov
Phone: 510-294-2862
Fax: 510-294-2276

Bondarenko, Oleg A.
Institute of Radiation Protection
Ukraine
254050 Kiev
ul. Melnikova 53
Phone (380 44) 231 9629
Fax (380 44) 213 7192

Chesser, Ron
Savannah River Ecology Laboratory
Drawer E
Aiken, SC 29802
rchesser@srel.edu
Phone: 803-725-3633
Fax: 803-725-3309

Courville, George
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008
Oak Ridge, TN 37831-6189
gec@ornl.gov
Phone: 423-574-1945
Fax: 423-574-7671

Derevets, Valeriy V.
State Enterprise of Regional Environmental
Monitoring and Dosimetry Control
"RADEK"
Ukraine, 255620 Chornobyl
Glavpochtampt (Main Post Office)
GP "RADEK"
Phone: (380 4493) 91655
Fax: (380 4493) 51501

Dolin, Victor
Scientific-Production State Enterprise «Vidrodzhenya»,
National Academy of Sciences of Ukraine
24430 Sumy
ul. Petropavlovskaya 58
UKRAINE

Dushenkov, Slavik
Phytotech, Inc.
1 Deer Park Drive, Suite 1
Monmouth Junction, NJ
Dushenkov@aol.com
Phone: 732-438-0900
Fax: 732-438-1209

Early, Tom
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6101
Oak Ridge, TN 37831-6101
eot.@ornl.gov
Phone: 423-576-2103
Fax: 423-574-7420

Easterly, Clay
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6187
Oak Ridge, TN 37831-6187
easterlyce@ornl.gov
Phone: 423-574-6254
Fax: 423-576-7651

Elliott, Gerald
Principal
International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GA 30067
iae@atlanta.com
iae@mindspring.com
Phone: 770-955-8284
Fax: 770-955-8194

Fellows, Robert J.
Pacific Northwest National Laboratory
P.O. Box 999, K4-12
Richland, WA 99352
rj_fellows@pnl.gov
Pphone: 509-375-2247
Fax: 509-375-6666

Grebenkov, Alexander
Head of Laboratory
Institute of Power Engineering Problems
Academy of Sciences
Sosny, 22109
Minsk, Belarus
Greb@sosny.bus-net.by
Phone: 375-17-246-7542
Fax: 375-17-246-7055

Geletuha, Georgiy G.
Institute for Technical Thermophysics
National Academy of Sciences of Ukraine
Ukraine
252057 Kiev
ul. Zhelyabova 2a
Phone (380 44) 441 7356
Fax (380 44) 446 6091

Hartley, James
Pacific Northwest National Laboratory
P.O. Box 999, K9-48
Richland, WA 99352
Jim.Hartley@pnl.gov
Phone: 509-372-4428
Fax: 509-372-4386

R. R. Hinchman
Argonne National Laboratory
9700 S. Cass Ave., Bldg. 362 E333
Argonne, IL 60439

Johnson, Don
Argonne National Laboratory
9700 S. Cass Ave., Bldg. 362
Argonne, IL 60439
don_johnson@qmgate.anl.gov
Phone: 630-252-3392
Fax: 630-252-7288

Junker, Helle
Elsamprojekt
Kraftvaerksvej 53
DK-7000 Fredericia
Denmark
Hju@elsamprojekt.dk
Phone: 45 79 23 30 93
Fax: 45 75 56 44 77

Kalb, Paul
Brookhaven National Laboratory
34 N. Railroad St. (Bldg. 830)
P.O. Box 5000
Upton, NY 11973-5000
kalb@bnl.gov
Phone: 516-344-7644
Fax: 516-344-4486

Kuchma, Nikolai D.
Chornobyl Scientific Center for International Research
Ukraine
255620 Chornobyl
ul. Shkolnaya 6
Phone (380 4493) 52201
Fax (380 4493) 52064

Lobach, Gennadiy A.
State Enterprise for Treatment and
Disposal of Mixed Hazardous Waste
Technocentre
Ukraine
255620 Chornobyl
ul. Sovetskaya 51
Phone: (380 4493) 51520
Fax: (380 4493) 52221

G.B. Manelis
Institute of Chemical Physics Research
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka, Moscow Region,
142432 Russia
manelis@icp.ac.ru
Phone: 7(095)9132310
Fax: 7(096-51)533588

Murav'ev, Yuriy I.
State Company Chornobyl
Ukraine
255620 Chornobyl
ul. Lenina 148
Phone (380 4493) 52048
Fax (380 4493) 51407

Negri, M. Cristina
Argonne National Laboratory
9700 S. Cass Ave., Bldg. 362 E333
Argonne, IL 60439
E-mail: negri@anl.gov
Phone: 630-252-9662
Fax: 630-252-9281

Overend, Ralph
National Renewable Energy Laboratory
1617 Cole Blvd
Golden, CO 80401-3393
ralph_overend@nrel.gov
Phone: 303-275-4450
Fax: 303-275-2905

Pichurin, Sergei G.
State Company for Treatment and
Disposal of Mixed Hazardous Waste
Technocentre
Ukraine
255620 Chornobyl
ul. Sovetskaya 51
Phone (380 4493) 51520
Fax (380 4493) 52221

E. V. Polianczyk
Institute of Chemical Physics Research
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka, Moscow Region,
142432 Russia
polian@icp.ac.ru
Phone: 7(095)9132310 (G. Manelis)
Fax: 7(096-51)533588

Proskura, Nikolai I.
Restricted and Exclusion Zone Management
Ukraine, 255620 Chornobyl, ul.
Sovetskaya 14
Phone: (380 4493) 52642
Fax: (380 4493) 51428

Ribalka, Valery
Radiochemical & Microbiological Research
Chornobyl Center for International Research
Chornobyl Central Laboratory
CheCIR
6, Schkolnaya st.
255629 Chornobyl
UKRAINE

Roed, Jorn
Environmental Science & Technology Dept.
Riso National Laboratory
P.O. Box 49
DK-4000 Roskilde
Denmark
Jorn.roed@risoe.dk
Phone: 4546774186
Fax: 4546774193

V.G. Shteinberg
Deputy Head of Department of
Combustion and Explosion
Institute of Chemical Physics in Chernogolovka
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka, Moscow Region,
142432 Russia
manelis@icp.ac.ru
Phone: 7(095)9132310 (through G. Manelis)
Fax: 7(096-51)533588

Sagalovich, Vladislav V.
Institute of Applied Physics
National Academy of Sciences of Ukraine
Ukraine
24430 Sumy
ul. Petropavlovskaya 58
Phone: (380 542) 222794
Fax: (380 542) 333436

Shelton, Robert
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6187
Oak Ridge, TN 37831-6187
sheltonrb@ornl.gov
Phone: 423-576-8176
Fax: 423-574-7671

Sorochinsky, Boris
Institute of Cell Biology and
Genetic Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine
Ukraine
252143 Kiev
ul. Sovetskaya 14
Phone (380 4493) 52642
Fax (380 4493) 51428

Stavtsev, Anatoliy F.
Thermodynamical Center
Kiev

Surzhikov, Evgueniy P.
Scientific and Technical Center "Biomass"
Ukraine
252040 Kiev-40
P/O Box 122
Phone (380 44) 252 7288
Fax (380 44) 265 3256

Tokarevsky, Vladimir
Director General
State Company for Treatment
and Disposal of Mixed Hazardous Waste
46, Nauka pr., Kyiv, 252650
UKRAINE
tokarv@olinet.isf.kiev.ua
Phone: 380-44-265-0776 (Kiev)
380-44-0351-520 (Chornobyl)
Fax: 380-44-265-4320 (Kiev)
380-44-935-2221 (Chornobyl)

Tuskan, Gerald
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008
Oak Ridge, TN 37831-6422
tuskanga@ornl.gov
Phone: 423-576-8141
Fax: 423-576-8143

Yakushau, Anatoli
Deputy Director
Institute of Power Engineering Problems
National Academy of Sciences
220109 Minsk-Sosny
BELARUS

Yanshin, Vladimir M.
State Enterprise of Regional Environmental
Monitoring and Dosimetry
Control "RADEK"
Ukraine, 255620 Chornobyl'
Glavpochtampt (Main Post Office)
GP "RADEK"
Phone: (380-4493) 51105, (380 4493) 91319
Fax: (380 4493) 51501

Attending Wednesday Only

Castelli, Brian
Chief of Staff
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
U.S. Department of Energy, Headquarters
Forrestal EE-1, 1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585
Brian.Castelli@hq.doe.gov
Phone: 202-586-9220
Fax: 202-586-9260

Congdon, Michael B.
Battelle Washington
901 D Street, SW
Suite 900
Washington, DC 20024
michael.congdon@pnl.gov
Phone: 202-646-5285
Fax: 202-646-7848

Dodd, Laurin
Environmental Technology Division
Pacific Northwest National Laboratory
P.O. Box 999, K7-74
Richland, WA 99352
Laurin.dodd@pnl.gov
Phone: 509-372-4423
Fax: 509-372-4411

Hunter, Ray
Director
Office of Nuclear Energy, Science & Technology
U.S. Department of Energy, Headquarters
1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585
Phone: 202-586-6450
Fax: 202-586-8353

Kalchenko, Valeriy
Minister
Ministry of Emergency Situations
vul. Olesya Honchara, 55
Kyiv 252030, Ukraine

Lash, Terry R.
Office of Nonproliferation and National Security
U.S. Department of Energy, Headquarters
1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585
Terry.Lash@hq.doe.gov
Phone: 202-586-6642
Fax: 202-586-0862

Myronjuk, G.
Director
Department of Science
And New Technologies
Cabinet of Ministers of Ukraine

Madia, William J.
Director
Pacific Northwest National Laboratory
P.O. Box 999, K1-46
Richland, WA 99352
Madia@pnl.gov
Phone: 509-375-6600
Fax: 509-375-6844

Storizhko, Volodymyr
Chairman
Committee for Science and Education
Supreme Rada of Ukraine

Swanson, Lea
Director, Environmental Development
Ukraine, Moldova, Belarus
U.S. Agency for International Development
Regional Mission
19 Nizhniy Val St.
254071 Kiev, Ukraine

Thompson, M. Kay
Office of Policy
U.S. Department of Energy
Forrestal, PO-71
1000 Independence Ave., S.W.
Washington, DC 20585
Kay.Thompson@hq.doe.gov
Phone: 202-586-7997
Fax: 202-586-0823

Wagoner, John
Richland Operations
U.S. Department of Energy
825 Jadwin, A7-50
Richland, WA 99352
John_d_wagoner@rl.gov
Phone: 509-375-7395
Fax: 509-376-4789

Walgren, Doug
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
U.S. Department of Energy
Forrestal Bldg.
1000 Independence Ave., S.W.
Washington, DC 20585
Doug.Walgren@hq.doe.gov
Phone: 202-586-3309
Fax: 202-586-9260

ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ СЕМИНАР ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЮ БИОМАССЫ В ЭНЕРГИЮ
Славутич, Украина

23-25 февраля 1998 г.

Докладчики

Адамян, Серж
Компания Ecotrade, Inc.
220 South Kenwood St, Suite 305
Glendale, CA 91205–1671
svadamian-ecotrade@worldnet.att.net
Телефон: 818–240–4500
Факс: 818–240–4501

Андерсон, Хейвуд
Компания International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GA 30067
iae@atlanta.com
iae@mindspring.com
Телефон: 770–955–8284
Факс: 770–955–8194

Архипов, Андрей Н.
Чернобыльский Центр по международным исследованиям
Украина
255620 г. Чернобыль
ул. Школьная д. 6
Телефон (380 4493) 52201
Факс (380 4493) 52064

Бакстер, Лэрри
Сандийская Национальная Лаборатория
MS9052
7011 East Avenue
Livermore, CA 94550
baxter@sandia.gov
Телефон: 510–294–2862
Факс: 510–294–2276

Бондаренко, Олег А.
Институт Радиационной Защиты
Украина
254050 г. Киев
ул. Мельникова д. 53
Телефон (380 44) 231 9629
Факс (380 44) 213 7192

Чессер, Рон
Экологическая Лаборатория Саванна–Ривер
Drawer E
Aiken, SC 29802
rchesser@srel.edu
Телефон: 803–725–3633
Факс: 803–725–3309

Коурвилл, Джордж
Окриджская Национальная Лаборатория
P.O. Box 2008
Oak Ridge, TN 37831–6189
gec@ornl.gov
Телефон: 423–574–1945
Факс: 423–574–7671

Деревец, Валерий В.
Государственное предприятие по региональному контролю за состоянием окружающей среды и дозиметрии «РАДЕК»
Украина, 255620 г. Чернобыль
Главпочтамт (Главное отделение связи)
ГП «РАДЕК»
Телефон: (380 4493) 91655
Факс: (380 4493) 51501

Душенков, Славик
Компания Phytotech, Inc.
1 Deer Park Drive, Suite 1
Monmouth Junction, NJ
Dushenkov@aol.com
Телефон: 732–438–0900
Факс: 732–438–1209

Эрли, Том
Национальная Лаборатория Ок-Ридж
P.O. Box 2008, MS6101
Oak Ridge, TN 37831–6101
eot.@ornl.gov
Телефон: 423–576–2103
Факс: 423–574–7420

Эстерли, Клэй
Национальная Лаборатория Ок-Ридж
P.O. Box 2008, MS6187
Oak Ridge, TN 37831-6187
easterlyce@ornl.gov
Телефон: 423–574–6254
Факс: 423–576–7651

Эллиотт, Джеральж
Директор
Компания International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GG 30067
iae@atlanta.com
iae@mindspring.com
Телефон: 770–955–8284
Факс: 770–955–8194

Феллоус, Роберт Дж.
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория
P.O. Box 999, K4–12
Richland, WA 99352
rj_fellows@pnl.gov
Телефон: 509–375–2247
Факс: 509–375–6666

Гребеньков, Александр
Руководитель Лаборатории
Институт Энергетических Проблем
Академии Наук
Сосны, 22109
г. Минск, Беларусь
Greb@sosny.bus-net.by
Телефон: 375–17–246–7542
Факс: 375–17–246–7055

Гелетуха, Георгий Г.
Институт Технической Термофизики
Украинской Государственной Академии Наук
Украина
252057 г. Киев
ул. Желябова д. 2а
Телефон (380 44) 441 7356
Факс (380 44) 446 6091

Хартли, Джеймс
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория
P.O. Box 999, K9–48
Richland, WA 99352
Jim.Hartley@pnl.gov
Телефон: 509–372–4428
Факс: 509–372–4386

Джонсон, Дон
Аргонская Национальная Лаборатория
9700 S. Cass Ave., Bldg. 362
Argonne, IL 60439
don_johnson@qmgate.anl.gov
Телефон: 630–252–3392
Факс: 630–252–7288

Джанкер, Хелли
Организация Elsamprojekt
Kraftvaerksvej 53
DK-7000 Fredericia
Denmark
Hju@elsamprojekt.dk
Телефон: 45 79 23 30 93
Факс: 45 75 56 44 77

Калб, Пол
Брукхейвенская Национальная Лаборатория
34 N. Railroad St. (Bldg. 830)
P.O. Box 5000
Upton, NY 11973-5000
kalb@bnl.gov
Телефон: 516–344–7644
Факс: 516–344–4486

Кучма, Николай Д.
Чернобыльский Центр по международным исследованиям
Украина
255620 г. Чернобыль
ул. Школьная д. 6
Телефон (380 4493) 52201
Факс (380 4493) 52064

Лобач, Геннадий А.
Государственное Предприятие по обработке и захоронению смешанных опасных отходов
Техноцентр
Украина
255620 г. Чернобыль
ул. Советская д. 51
Телефон: (380 4493) 51520
Факс: (380 4493) 52221

Г.Б. Манелис
Институт Химической Физики; Черноголовка, Россия
Российская Академия Наук

Муравьев, Юрий И.
Государственная компания Чернобыльлес
Украина
255620 г. Чернобыль
ул. Ленина д. 148
Телефон (380 4493) 52048
Факс (380 4493) 51407

Негри, М. Кристина
Аргоннская Национальная Лаборатория
9700 S. Cass Ave., Bldg. 362 E333
Argonne, IL 60439
E-mail: negri@anl.gov
Телефон: 630–252–9662
Факс: 630–252–7288

Оверенд, Ральф
Национальная Лаборатория Возобновляемой Энергии
1617 Cole Blvd
Golden, CO 80401–3393
ralph_overend@nrel.gov
Телефон: 303–275–4450
Факс: 303–275–2905

Пичурин, Сергей Г.
Государственное Предприятие по обработке и захоронению смешанных опасных отходов
Техноцентр
Украина
255620 г. Чернобыль
ул. Советская д. 51
Телефон (380 4493) 51520
Факс (380 4493) 52221

Е. В. Пиляньчук
Институт Химической Физики
Российской Академии Наук
Черноголовка, Россия

Проскура, Николай И.
Организация Ограниченной Зоны и Зоны отчуждения
Украина, 255620 г. Чернобыль
ул. Советская д. 14
Телефон: (380 4493) 52642
Факс: (380 4493) 51428

Роэд, Йорн
Департамент Науки и Технологии Окружающей среды
Национальная Лаборатория Рисо
P.O. Box 49
DK–4000 Roskilde
Denmark
Jorn.roed@risoe.dk
Телефон: 4546774186
Факс: 4546774193

В. Г. Штейнберг
Институт Химической Физики; Черноголовка, Россия
Российская Академия Наук

Сагалович, Владислав В.
Институт Прикладной Физики
Украинской Государственной Академии Наук
Украина
24430 г. Сумы
ул. Петропавловская д. 58
Телефон: (380 542) 222794
Факс: (380 542) 333436

Шелтон, Роберт
Окриджская Национальная Лаборатория
P.O. Box 2008, MS6187
Oak Ridge, TN 37831–6187
sheltonrb@ornl.gov
Телефон: 423–576–8176
Факс: 423–574–7671

Сорочинский, Борис
Институт Клеточной Биологии и Генетической инженерии
Украинской Государственной Академии Наук
Украина
252143 г. Киев
ул. Советская д. 14
Телефон (380 4493) 52642
Факс (380 4493) 51428

Ставцев, Анатолий Ф.
Центр Термодинамики
г. Киев

Суржиков, Евгений П.
Научно–технический Центр «Биомасса»
Украина
252040 г. Киев–40
П/Я 122
Телефон (380 44) 252 7288
Факс (380 44) 265 3256

Токаревский, Владимир
Генеральный Директор
Государственная компания по обработке и захоронению смешанных опасных отходов
пр. Науки д. 46, г. Киев, 252650
УКРАИНА
tokarv@olinet.isf.kiev.ua
Телефон: 380–44–265–0776 (Киев)
380–44–0351–520 (Чернобыль)
Факс: 380–44–265–4320 (Киев)
380–44–935–2221 (Чернобыль)

Тускан, Джеральд
Окриджская Национальная Лаборатория
P.O. Box 2008
Oak Ridge, TN 37831–6422
tuskanga@ornl.gov
Телефон: 423–576–8141
Факс: 423–576–8143

Якушау, А.
Институт Энергетических Проблем
Беларусь

Присутствовавшие только в среду

Кастелли, Брайен
Руководитель аппарата
Офис ядерной энергии, науки и технологии
Министерство Энергетики США, Главное здание
Forrestal EE-1, 1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585
Brian.Castelli@hq.doe.gov
Телефон: 202–586–9220
Факс: 202–586–9260

Конгдон, Майкл Б.
Баттелле Вашингтон
901 D Street, SW
Suite 900
Washington, DC 20024
michael.congdon@pnl.gov
Телефон: 202–646–5285
Факс: 202–646–7848

Додд, Лорен
Подразделение экологической технологии
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория
P.O. Box 999, K7–74
Richland, WA 99352
Laurin.dodd@pnl.gov
Телефон: 509–372–4423
Факс: 509–372–4411

Хантер, Рэй
Директор
Офис ядерной энергии, науки и технологии
Министерство Энергетики США, Главное здание
1000 Independence Ave., SW
Washington, DC 20585
Телефон: 202–586–6450
Факс: 202–586–8353

Калченко, Валерий
Министр по Чрезвычайным Ситуациям

Лаш, Тэрри Р.
Директор
Офис ядерной энергии, науки и технологии
Министерство Энергетики США, Главное здание
1000 Independence Ave., SW
Washingt on, DC 20585
Terry.Lash@hq.doe.gov
Телефон: 202–586–6450
Факс: 202–586–8353

Миронюк, Г.
Директор
Департамент Науки и Новых Технологий
Кабинета Министров Украины

Мадя, Вильям Дж.
Директор
Тихоокеанская Северо–западная Национальная Лаборатория
P.O. Box 999, K1-46
Richland, WA 99352
Madia@pnl.gov
Телефон: 509–375–6600
Факс: 509–375–6844

Сторижко, Володимир
Председатель
Комитета по Науке и Образованию
Верховной Рады Украины

Свансон, Ли
Директор, Экологическое развитие
Украины, Молдовы, Беларуси
Агентство США по международному развитию
Региональная Миссия
ул. Нижний Вал д. 19
254071 г. Киев, Украина

Томпсон, М. Кей
Офис политики
Министерство Энергетики США
Forrestal, PO–71
1000 Independence Ave., S.W.
Washington, DC 20585
Kay.Thompson@hq.doe.gov
Телефон: 202–586–7997
Факс: 202–586–0823

Вагонер, Джон
Операции в Ричлэнде
Министерство Энергетики США
825 Jadwin, A7–50
Richland, WA 99352
John_d_wagoner@rl.gov
Телефон: 509–375–7395
Факс: 509–376–4789

Уолгрен, Дуглас
Офис энергетической эффективности
Министерство Энергетики США
Forrestal Bldg.
1000 Independence Ave., S.W.
Washington, DC 20585
Doug.Walgren@hq.doe.gov
Телефон: 202–586–3309
Факс: 202–586–9260

Distribution

No. of Copies

OFFSITE

2 DOE/Office of Scientific and Technical Information

Serge Adamian
Ecotrade, Inc.
220 South Kenwood Street, Suite 305
Glendale, CA 91205-1671

Haywood Anderson
International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GA 30067

Elizabeth Arner, Special Assistant
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
Forrestal Building
U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue SW
Washington, DC 20585

Riaz Awan
Office of Nuclear Energy
U.S. Department of Energy
19901 Germantown Road
Germantown, MD 20874

Larry Baxter
Sandia National Laboratory
7011 East Avenue, MS9052
Livermore, CA 94550

No. of Copies

Brian Castelli, Chief of Staff
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
Forrestal Building
U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue SW
Washington, DC 20585

Ron Chesser
Savannah River Ecology Laboratory
Drawer E
Aiken, SC 29802

George Courville
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6189
Oak Ridge, TN 37831-6189

Daniel J. Desmond
Sustainable Systems Research
1303 Wheatland Avenue
Lancaster, PA 17603

Slavik Dushenkov
Phytotech, Inc.
1 Deer Park Drive, Suite 1
Monmouth Junction, NJ 08852

Tom Early
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6400
Oak Ridge, TN 37831-6400

No. of
Copies

Clay Easterly
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6101
Oak Ridge, TN 37831-6101

Gerald Elliott, Principal
International Applied Engineering, Inc.
2160 Kingston Court, Suite E
Marietta, GA 30067

Peter V. Hewka, Vice President
Omega Thermal Technologies Inc.
P.O. Box 1268
Blackwood, NJ 08012

R. R. Hinchman
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue, Building 362
Argonne, IL 60439

Don Johnson
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue, Building 362
Argonne, IL 60439

Paul Kalb
Brookhaven National Laboratory
P.O. Box 5000, Building 830
Upton, NY 11973-5000

Anssi Kujala
Counselor, Science and Technology
Embassy of Finland
Technology Center
3301 Massachusetts Avenue NW
Washington, DC 20008

No. of
Copies

Terry R. Lash
Office of Nonproliferation and National Security
Forrestal Building
U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue SW
Washington, DC 20585

Paul Moskowitz
Division Head
Environmental & Waste Technology Center
Brookhaven National Laboratory
P.O. Box 5000, Building 830
Upton, NY 11973-5000

M. Cristina Negri
Argonne National Laboratory
9700 South Cass Avenue, Building 362
Argonne, IL 60439

Ralph Overend
National Renewable Energy Laboratory
1617 Cole Boulevard
Golden, CO 80401-3393

Vasyl P. Pohrebennyk
Vice President (Ukraine)
Omega Thermal Technologies
P.O. Box 1268
Blackwood, NJ 08012

Robert Shelton
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6187
Oak Ridge, TN 37831-6187

No. of
Copies

Lea Swanson, Director
Environmental Development
U.S. Agency for International
Development/Kyiv
5850 Department of State
Washington, DC 20521

M. Kay Thompson
Forrestal Building
U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue SW
Washington, DC 20585

Gerald Tuskan
Oak Ridge National Laboratory
P.O. Box 2008, MS6422
Oak Ridge, TN 37831-6422

Doug Walgren
Office of Energy Efficiency and Renewable
Energy
Forrestal Building
U.S. Department of Energy
1000 Independence Avenue SW
Washington, DC 20585

FOREIGN

Alexander Grebenkov
Head of Laboratory
Institute of Power Engineering Problems
National Academy of Sciences of Belarus
220109 Sosny, Minsk
BELARUS

Anatoli P. Yakushau
Deputy Director
Institute of Power Engineering Problems
National Academy of Sciences of Belarus
220109 Sosny, Minsk
BELARUS

No. of
Copies

Helle Junker
Elsamprojekt
Kraftvaerksvej 53
DK-7000 Fredericia
DENMARK

Jorn Roed
Environmental Science & Technology
Department
Risio National Laboratory
P.O. Box 49
DK-4000 Roskilde
DENMARK

Flemming Rune
The Danish Forest and Landscape Research
Institute
Horsholm
DENMARK

Mervi Salminen, Senior Advisor
Ministry of Trade and Industry
Government of Finland
Aleksanterinkatu 4
P.O. Box 230
00171 Helsinki
FINLAND

G. B. Manelis
Institute of Chemical Physics Research
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka
Moscow Region 142432
RUSSIA

E. V. Polianczyk
Institute of Chemical Physics Research
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka
Moscow Region 142432
RUSSIA

No. of
Copies

V. G. Shteinberg
Institute of Chemical Physics Research
Russian Academy of Sciences
Chernogolovka
Moscow Region 142432
RUSSIA

Andrei Arkhipov
Chornobyl Scientific Center for International Research
ul. Shkolnaya 6
Chornobyl 255620
UKRAINE

V. Berchiy
State Company Chornobyl'les
ul. Lenina 148
Chornobyl 255620
UKRAINE

Oleg Bondarenko
Institute of Radiation Protection
ul. Melnikova 53
Kyiv 254050
UKRAINE

Valeriy Derevets
State Enterprise of Regional Environmental Monitoring and Dosimetry Control "RADEK"
Chornobyl 255620
UKRAINE
Glavpochtampt (Main Post Office)
GP "RADEK"

No. of
Copies

Victor Dolin
Scientific-Production State Enterprise "Vidradzhenya"
National Academy of Sciences of Ukraine
ul. Petropavlovskaya 58
Sumy 24430
UKRAINE

Georgiy Geletuha
Institute for Technical Thermophysics
National Academy of Sciences of Ukraine
ul. Zhelyabova 2a
Kyiv 252057
UKRAINE

Valeriy Mykolaiovych Kal'chenko
Minister
Ministry of Emergencies
vul. Olesya Honchara, 55
Kyiv 252030
UKRAINE

Volodymyr Ivanovych Kholosha
First Deputy Minister
Ministry of Emergencies
vul. Olesya Honchara, 55
Kyiv 252030
UKRAINE

Mykola Heorhiovych Kovalsky
Head of the Division of International Ties
Ministry of Emergencies
vul. Olesya Honchara, 55
Kyiv 252030
UKRAINE

No. of
Copies

Nikolai D. Kuchma
Chornobyl Scientific Center for International Research
ul. Shkolnaya 6
Chornobyl 255620
UKRAINE

Gennadiy A. Lobach
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste Technocentre
ul. Sovetskaya 51
Chornobyl 255620
UKRAINE

Yuriy I. Murav'ev
State Company Chornobyl'les
ul. Lenina 148
Chornobyl 255620
UKRAINE

G. Myronjuk, Director
Department of Science and New Technologies
Cabinet of Ministers of Ukraine
UKRAINE

Sergei G. Pichurin
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste Technocentre
ul. Sovetskaya 51
Chornobyl 255620
UKRAINE

Volodymyr Yakovych Pinchuk
Head of the Department of Science and Technology
Ministry of Emergencies
vul. Olesya Honchara, 55
Kyiv 252030
UKRAINE

No. of
Copies

Nikolai I. Proskura
Restricted and Exclusion Zone Management
ul. Sovetskaya 14
Chornobyl 255620
UKRAINE

Veniamin A. Pryanichnikov
State Company for Treatment and Disposal of Mixed Hazardous Waste Technocentre
ul. Sovetskaya 51
Chornobyl 255620
UKRAINE

Valery Ribalka
Radiochemical & Microbiological Research
Chornobyl Center for International Research
Chornobyl Central Laboratory
CheCIR
6, Schkolnaya st.
Chornobyl 255629
UKRAINE

Vladislav V. Sagalovich
Institute of Applied Physics
National Academy of Sciences of Ukraine
ul. Petropavlovskaya 58
Sumy 24430
UKRAINE

Boris Sorochinsky
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
National Academy of Sciences of Ukraine
ul. Sovetskaya 14
Kyiv 252143
UKRAINE

Anatoliy F. Stavtsev
Thermodynamical Center
Kyiv
UKRAINE

No. of
Copies

Volodymyr Storizhko, Chairman
Committee for Science and Education
1, Lesi Ukrajinky Sq.
Kyiv 252196
UKRAINE

Evgueniy P. Surzhikov
Scientific and Technical Center "Biomass"
P/O Box 122
Kyiv-40 252040
UKRAINE

10 Vladimir Tokarevsky
Director General
State Company for Treatment and Disposal
of Mixed Hazardous Waste
46, Nauka pr.
Kyiv 252650
UKRAINE

No. of
Copies

ONSITE

DOE, Richland Operations Office

J. D. Wagoner	A7-50

22 Pacific Northwest National Laboratory

C. C. Ainsworth	K3-61
D. A. Cataldo	K2-21
M. B. Congdon	BWO
W. C. Cosby	K7-62
L. R. Dodd	K7-74
R. J. Fellows	K2-21
S. Fjeld	K8-58
J. N. Hartley (6)	K9-48
D. K. Kreid	K7-80
W. J. Madia	K1-46
A. L. Phillips	BWO
T. A. Riley	K7-74
Technical Report Files (5)	