

**АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ РАДИОБИОЛОГИИ**

УДК 577.34:581.14:614.7

Кравченко Вячеслав Анатольевич

**СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ, ДОМИНИРУЮЩИХ В ФИТОЦЕНОЗАХ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО
ВЫБРОСА**

03.00.01 - радиобиология

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

МИНСК - 1997

Работа выполнена в Институте радиобиологии АН Беларуси

Научные руководители

доктор биологических наук Гапоненко В И
кандидат географических наук Мацко В П

Официальные оппоненты

доктор биологических наук, чл - корр АН Беларуси Якушев Б И
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Чистик О В

Оппонирующая организация

Центральный ботанический сад АН Беларуси

Защита состоялась "29" ~~апреля~~ 1997 года в 15 часов
на заседании совета по защите диссертаций Д 01 35 01 в
Институте радиобиологии АН Беларуси (220800, г. Минск,
ул. Ждановская, 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
радиобиологии АН Беларуси.

Автореферат разослан "27" ~~апреля~~ 1997 года

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат биологических наук



А. М. Ходосовская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ. Степень выраженности реакции растительного организма на действие радиационного фактора определяется дозой облучения видовыми особенностями растений, фазой их онтогенеза, а также многочисленными абиотическими факторами, воздействующими на организм в период его роста и развития (Алексахин, 1996; Кузин 1977; Савин, 1981; Гродзинский и др., 1984; Гудков, 1991.).

Сложившаяся на юго-востоке Беларуси радиэкологическая обстановка по прошествии 10 лет после аварии на ЧАЭС требует решения вопросов, связанных с действием ионизирующего излучения на важнейшие физиологические характеристики доминирующих компонентов фитоценозов, загрязненных радионуклидами с учетом видовой специфичности растений, почвенных и климатических особенностей. Изучение миграции в системе "почва-растение" цезия-137, основного дозобразующего радионуклида, а также стронция-90 представляет научный интерес и практическую значимость.

СВЯЗЬ РАБОТЫ С КРУПНЫМИ НАУЧНЫМИ ПРОГРАММАМИ, ТЕМАМИ

Работа выполнялась в рамках подраздела 3.3.2. научного раздела Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1990-1995 годы.

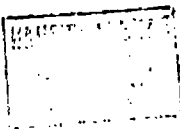
ЦЕЛЬ диссертационной работы: определить факторы, играющие роль в поступлении Cs-137 в растения Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), и исследовать действие радиации на физиологические характеристики роста и развития растительных организмов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Изучить характер радиационной обстановки типичных для ПГРЭЗ фитоценозов, загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса.
2. Определить влияние плотности загрязнения почвы Cs-137, ее кислотности, видовой специфичности растений на динамику поступления радиоцезия в фитомассу.
3. Исследовать действие радиации в естественных условиях на содержание фотосинтетических пигментов, белков, нуклеиновых кислот в листьях растений.
4. Определить поглощенные дозы, которые получают доминирующие виды в зоне радиоактивного загрязнения в период вегетации.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1) Установлены факторы (плотность загрязнения почвы, ее pH, видовые особенности растений), существенно влияющие на динамику поступления Cs-137 в фитомассу дикорастущих видов. При этом показано, что основное содержание радиоцезия



(до 94,6 %) продолжает оставаться (сезуля 10 лет после аварии) в верхнем 0-5 см слое относительно необработываемой почвы.

2) Показано, что фитонензы остаются достаточно устойчивыми к длительному воздействию радиационного фактора при наличии изменений отдельных физиологических показателей.

3) Выявлена положительная корреляция между удельной активностью (УА) листьев (при значениях их УА от 0 до 12000 Бк/кг) и интенсивностью фотосинтеза. Обнаружены также изменения в содержании белка в листьях *Agrostis teres* L. в фазе начала вегетации и цветения, суммарного содержания нуклеиновых кислот в листьях *Dactylis glomerata* L. в фазе начала вегетации в условиях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Установлена положительная корреляция между удельной активностью (УА) листьев (при значениях их УА от 0 до 12000 Бк/кг) и интенсивностью фотосинтеза.

4) Разработан метод расчета доз поглощаемых травянистыми растениями в условиях радиоактивного загрязнения фитонензой. На основе предложенного метода проведена оценка устойчивости растительных сообществ к воздействию радиационного фактора.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ. Полученные данные о влиянии изученных факторов на биологическую доступность $Cs-137$ растениям могут быть использованы для выработки способов регулирования поступления радионуклеидов в фитомассу.

Результаты исследований показывают, что при оценке пригодности природных сообществ загрязненных радионуклидами для хозяйственного использования наряду с плотностью загрязнения почвы необходимо учитывать ее физико-химическое состояние и видовые особенности растений.

Установленные высокие значения удельной активности верхних слоев почвы (0-5 см), фитомассы луговых трав и древесины лесобразующих пород свидетельствуют, что природные экосистемы ПТЗ в случае пожаров являются потенциальными источниками загрязнения территорий населенных людьми. В связи с этим имеется необходимость продолжения научного мониторинга за растительными сукцессиями на территориях, загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса.

Разработанный метод расчета поглощенных доз для травянистых растений позволяет в полевых условиях оценивать устойчивость фитонензов к воздействию радиационного фактора.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИСЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1) Увеличение удельной активности почвы сопровождается снижением величины коэффициента накопления $Cs-137$ растениями, что может в определенной степени свидетельствовать о наличии "порога" насыщения надземных тканей радионуклидами.

2) В величине накопления радионуклидов растениями, наряду с физико-химическими свойствами почвы, важное значение имеют видовые особенности. Из исследованных видов наиболее активно накапливает радионуклеиды *Dactylis glomerata* L.

3) Поглощенные растениями дозы ($\sim 0,1 - 0,4 \text{ Гр за год}$), рассчитанные с помощью предложенного метода, обуславливают ряд изменений на субклеточном уровне, но не вызывают морфологических изменений и гибели изученных видов и не сказываются на состоянии растительных сообществ

4) Увеличение дозы облучения у *Agropyron terens*, *Trifolium pratense*, *Hureticum perforatum* сопровождается возрастанием интенсивности фотосинтеза в листьях, а у *Agropyron terens* и *Dactylis glomerata* содержания белка в фазе начала вегетации и цветения, при отсутствии существенных изменений в содержании фотосинтетических пигментов

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД СОНСКАГО ГЛЯ. Экспериментальная часть работы, а также анализ полученных результатов с привлечением современных данных литературы проведены автором диссертации лично.

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ. Основные результаты работы докладывались на Белорусско-Японском симпозиуме "Ближайшие и отдаленные последствия ядерных катастроф: Хиросима, Нагасаки и Чернобыль", 3-5 октября 1994 г., Минск; Международном рабочем совещании по Чернобыльской экологической исследовательской сети "Экологический статус загрязненных территорий", 19-20 апреля 1995 года г. Минск; Международной конференции "Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы)", 28-29 февраля 1996 года в г. Минск; Втором съезде Белорусского общества фотобиологов и биофизиков "Молекулярно-клеточные основы функционирования биосистем", г. Минск 25-27 июня 1996 года

ОПУБЛИКОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ. По результатам работы опубликовано 4 статьи и 8 тезисов докладов

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, глав результатов собственных исследований и их обсуждения, заключения, выводов и списка литературы, включающего 107 работ. Работа изложена на 88 страницах машинописного текста, содержит 15 рисунков, 20 таблиц

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили следующие виды растений *Agropyron terens* L., *Festuca rubra* L., *Trifolium pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L., *Hureticum perforatum* L., *Pinus sylvestris* L., отбор которых проводился на следующих опытных участках, расположенных на территории ПРЭЗ и различающихся плотностью загрязнения почвы, мощностью экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения, плотностью потока бета-частиц

Опытный участок I расположен в пределах залежного фитocenоза у д. Радим (~10 км от ЧАЭС). Тип почвы - дерново-подзолистая глееватая. Основу видового состава составляют *Agropyron terens*, *Phleum pratense*, *Vicia cracca*, *Achillea millefolium*, *Hureticum perforatum*. Доминирующий вид - пырей полтучий (*Agropyron terens* L.). Мощность экспозиционной дозы на высоте 1м-1100 - 1500 мкР/ч. Плотность потока бета-частиц - 10

частиц $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ Плотность загрязнения почвы по Cs-137 составляла $6,1 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^2$, по Sr-90 $1,2 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$

Опытный участок 2 расположен на бывшем пастбище для домашнего скота у д. Бабчин (~ 25 км. от ЧАЭС) Тип почвы - дерново-подзолистая лесоватая. Основу видового состава составляют: *A. terens*, *F. rubra*, *Ph. pratense*, *D. glomerata*. Доминирующий вид - *A. terens* МЭД - 137 мкР/ч. Плотность потока бета-частиц 1,7 частиц $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ Плотность загрязнения почвы по Cs-137 $2,3 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$.

Опытный участок 3 расположен в пределах бывшего мелкорированного луга у д. Ломачи (~ 30 км от ЧАЭС). Тип почвы - торфяно-болотная. Основу видового состава составляют *F. rubra*, *H. perforatum*, *Sonchus arvensis*, *Linaria vulgaris*, Доминирующий вид - овсяница луговая (*Festuca rubra* L.), содоминант - зеробой прорывающийся (*Hurepiscit perforatum* L.). МЭД - 70 мкР/ч. Плотность потока бета-частиц - 1,2 частиц $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ Плотность загрязнения почвы по Cs-137 $1,5 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$, по Sr-90 $0,2 \cdot 10^{12} \text{ Бк/м}^2$.

Также образцы *A. terens* отбирались на реперных точках у д. Лесок и д. Крюки. Лесная поляна у д. Лесок расположена в 15 км. от ЧАЭС в смешанном лесу. Тип почвы дерново-подзолистая супесчаная. МЭД - 1700 мкР/ч. Плотность загрязнения почвы по Cs - 137 $5,3 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$, по Sr-90 $0,7 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$

Участок у д. Крюки расположен в 10 км от ЧАЭС. Тип почвы - дерново-подзолистая супесчаная. Уровень МЭД - 3000 мкР/ч. Плотность загрязнения почвы по Cs-137 $23,5 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$, по Sr-90 $1,2 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^2$.

Образцы почвы отбирались металлическим кольцом диаметром 15 см. и высотой 5 см., высушивались при комнатной температуре до воздушно - сухого состояния и затем взвешивались.

Образцы растительности в фазах начала вегетации, цветения, плодоношения срезались у поверхности почвы ножницами, также доводились при комнатной температуре до воздушно - сухого состояния, взвешивались.

Для определения удельной активности (УА) образцов почвы и вегетативной массы использовался германиево - литиевый (GeLi) детектор ДГДК - 80Б в связи с гамма-анализатором 4Р - 4900В фирмы "Aloca". Ошибка измерений не превышала 15%.

Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма - излучения измеряли у поверхности почвы и на высоте 1 м дозиметром ДРГ-01Т. Предел допускаемой основной погрешности измерения прибора в режиме работы "Измерение" составлял $\pm 15\%$.

Плотность потока бета-частиц определяли радиометром МКС - 01Р - 01 с блоком детектирования БДКБ - 01Р. Измерение энергетических характеристик частиц с использованием алюминиевых фильтров толщиной 0,1 мм. проводили по методу, предложенному в работе Богданова А. П. с соавт. (1990) Погрешность измерения составляла $\pm 20\%$.

Кислотность солевой вытяжки (1Н КСl) определялась по методу, изложенному в работе Миллер (1973).

Облучение семян и проростков производилось на установках "Гаммарид" 192/120 (МЭД-80; 160 и 300 мР/ч), "Игур" (МЭД-360 Р/ч) с источником гамма-излучения Cs-137.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений определяли с помощью метода, предложенного Шлыкюм А.Н. (1974) и Гапоненко В.И. (1976), белка - по Lowry et al. (1951), суммарное содержание нуклеиновых кислот - по методу Спрингера А.С. (1958).

Интенсивность фотосинтеза определялась при экспозиции растений в камере объемом 8,7 литра с использованием меченого по ^{14}C BaCO_2 активностью 80 МБк. Продолжительность экспозиции составляла 1 час, освещенность 15-20 тыс. лк. Активность поглощенной листьями углекислоты измерялась на β -спектрометре МАКБ-1 (США).

1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИОЦЕЗИЯ РАСТЕНИЯМИ

1.1. Содержание радиоцезия в почве и интенсивность его поступления в растения

В результате аварии на ЧАЭС радиоцезий выпал очень неравномерно. Табл. 1 в пределах залежного фитоценоза у д. Радин на различных реперных точках удельная активность почвы варьировала от $0,04 \cdot 10^5$ до $3,7 \cdot 10^5$ Бк/кг, т.е. в 92 раза. В то же время внутривидовые значения удельной активности фитомассы *Ph. pratense*, *A. terrep.*, *H. perforatum* в фазе цветения максимально различались в 2,2 раза ($4,2 \cdot 10^3$ - $9,5 \cdot 10^3$ Бк/кг).

Данный факт можно объяснить существованием "порога" насыщения надземных тканей цезием-137, при достижении которого уменьшается корневая активность, и как следствие, снижается доля поглощаемого радионуклеотида из почвенного комплекса.

Выявленная тенденция к уменьшению коэффициента накопления (Кн) (Кн - отношение УА растений (Бк/кг) к УА почвы (Бк/кг)) радиоцезия при увеличении его содержания в почве подтверждает наличие у растений "порога" поглощения нуклеида (рис. 1).

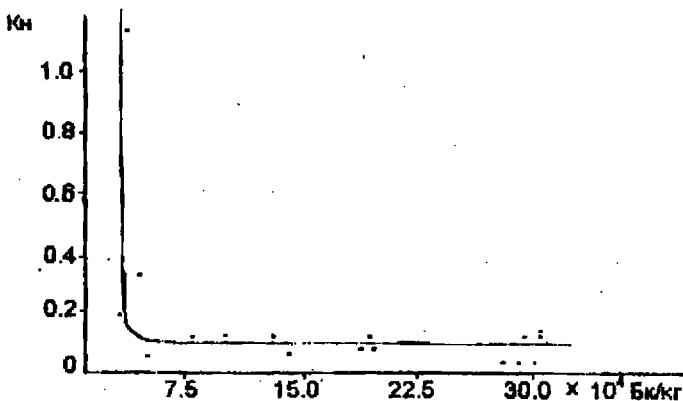


Рис.1 Зависимость коэффициента накопления Cs-137 растениями-доминантами от УА почвы

Следует подчеркнуть, что границы "порога" определяются кислотностью почвы (табл. 1).

1.2 Зависимость величин K_d от кислотности почвы

Согласно литературным данным (Schuller et al, 1988) влияние содержания в почве иллитных частиц, обменного калия, органического углерода связано с тем, что все эти факторы способствует изменению pH почвы. В (Корнеев, Егоров, 1989; Пристер и др., 1990) отмечается, что pH солевой вытяжки является интегральной характеристикой, определяющих подвижность катионов.

Как видно из таблицы 1, существует прямая корреляция между кислотностью почвы и значением удельной активности фитомассы, а также величиной коэффициента накопления радиоцезия растительностью.

Таблица 1

Коэффициент накопления (K_d) Cs-137 растительностью и кислотность (pH) дерново-подзолистой почвы (1N KCl).

Вид растения	УА, Бк/кг		K_d	pH
	почвы	растения		
A. repens	288300	251800	0,87	5,62
	107000	13600	0,12	6,51
	82400	9110	0,11	6,62
	290000	8977	0,03	7,73
Ph pratense	20000	5360	0,27	7,19
	290000	7400	0,03	7,73
H. perforatum	22300	10681	0,50	4,55
	11980	893	0,07	7,35

Можно предположить, что более высокое содержание катионов водорода в почве увеличивает и его концентрацию на активно поглощающей поверхности корня, что позволяет растению путем обменной адсорбции более интенсивно усваивать катион цезия. Кроме того, увеличение концентрации катиона водорода способствует переходу радиоцезия в почвенный раствор, делая его более доступным растениям. Данное предположение подтверждает модельный эксперимент, в ходе которого почвенные образцы, отобранные у д. Радин и одинаковые по УА ($7,6 \cdot 10^4$ Бк/кг по Cs-137) обрабатывались 1N раствором KCl различной кислотности. Полученные вытяжки большей кислотности характеризовались большей УА по Cs-137.

1.3. Видовые особенности растений и интенсивность поступления радиоцезия в фитомассу

Для растений, отобранных в фазе цветения, на залежном лугу у д. Радни, при одинаковой плотности загрязнения почвы, выявлен следующий ряд, составленный по величине удельной активности листьев (Бк/кг): *D. glomerata* ($1,9 \cdot 10^4$) > *P. pratense* ($1,1 \cdot 10^4$) > *A. terrep* ($7,1 \cdot 10^3$) > *H. perforatum* ($6,3 \cdot 10^3$), что указывает на видовую специфичность накопления радиоцезия растениями.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что интенсивность поступления радиоцезия в изученные виды, существенно зависит от следующих факторов:

- 1) плотности загрязнения почвы
- 2) кислотности почвы
- 3) видовых особенностей растений

2. ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАННЫХ РАСТЕНИЙ

Специфика повреждающего действия радиоактивных изотопов наряду с их физико-химическими свойствами обуславливается характером распределения их по отдельным органам растений. Установлено, что из надземных частей *A. terrep*, *D. glomerata*, *T. pratense* наиболее загрязнены колосья и листья. Удельная активность изотопа в стебле находится, например, на одном уровне независимо от вида растения и места его отбора. У *Artemisia absinthium* наблюдалось равномерное распределение нуклида по органам.

Исследовалось также распределение гамма-активности по высоте ствола основных лесообразующих пород ППРЭЗ. Полученные результаты показывают отсутствие зависимости между высотой ствола и его УА для коры и луба и прироста древесины 1986-1988 годов.

Интересно, что суммарная гамма-активность годовых колец ствола древесины березы и сосны была наибольшей в период 1961-1970 и 1986-1988 годов. Несомненно, что скачок радиоактивности 1986-1988 годов связан с Чернобыльской катастрофой, а повышенная гамма-активность колец ствола 1961-1970 гг., по-видимому, вызвана интенсивным испытанием ядерного оружия в 1961-1963 годах и глобальным переходом радиоактивных продуктов.

Проведенные лабораторные опыты по гамма-облучению проростков *Pt. pratense* и полевые эксперименты с *T. pratense* и *Pt. pratense*, выросшими из облученных семян, показали наличие изменений в содержании фотосинтетических пигментов. В связи с вышесказанным в данной работе предпринята попытка в природных условиях определить влияние радиации на содержание пигментов у доминирующих видов естественной растительности ППРЭЗ, загрязненной "чернобыльскими" радионуклидами.

Для оценки влияния радиационного фактора на концентрацию хлорофиллов а, б, каротиноидов и общего белка, образцы *A. terrep*, произрастающего на дерново-подзолистой почве в г. Минске (район Ботанического сада АНБ), вместе с почвой, в

судьях, были в начале вегетации перевезены и установлены на залежном фитоценозе у д. Радин Хойникского района. Изоляция растений в сосудах исключала возможность их корневого загрязнения радионуклидами. Оставшаяся часть растений в Минске служила в качестве контроля. Опытными можно назвать и *A. gerens* залежного фитоценоза, так как типы почв из Минска и Радина были идентичны. Принимая во внимание высокую толерантность *A. gerens* к внешним факторам, вполне можно говорить о выравнивании почвенно-климатических условий произрастания в ходе эксперимента. На период плодоношения содержание хл *a*, *b* и каротиноидов у опытных и контрольных растений были практически одинаковыми. Данный факт свидетельствует о том, что уровень гамма-фона в 1,4 мР/ч в течение 67 суток не вызвал каких-либо изменений в концентрации пигментов.

Отмечено отсутствие существенных изменений в содержании хлорофилла и каротиноидов при значении УА фитомассы от 1700 Бк/кг до 37000 Бк/кг.

Для проверки предположения о наличии взаимосвязи между интенсивностью фотосинтеза и значениями УА листьев, были проведены опыты с использованием метки $^{14}\text{C}\text{O}_2$. Полученные результаты показывают, что для *A. gerens*, *T. pratense*, *H. perforatum* с увеличением УА листьев возрастало поглощение $^{14}\text{C}\text{O}_2$ в фазе цветения (рис.2)

Учитывая огромную роль в жизнедеятельности организма, а также чувствительность к ионизирующим излучениям нуклеиновых кислот и белков (Решетников, 1996), изучалось влияние радиационного фактора на их содержание в листьях изученных видов. Для листьев *A. gerens* и хвоща *P. silvestris* прослеживалась тенденция к увеличению содержания белка с увеличением поглощенной дозы (соответственно МЭД и УА фитомассы) (рис.3).

Выявлена положительная корреляция между поглощенной дозой и концентрацией нуклеиновых кислот в листьях *D. glomerata* в фазе начала вегетации.

Для *H. perforatum* и *P. pratense* зависимости между поглощенной дозой и содержанием нуклеиновых кислот и белков за период исследований не наблюдалось.

В 1994 году на участке у д. Радин наблюдалось увеличение вегетативной массы и значительное возрастание количества генеративных особей *A. gerens* по сравнению с 1993 годом. Анализ погодных условий показывает, что в 1994 году за промежуток времени от начала вегетации до фазы цветения, были более обильные осадки, чем за аналогичный период 1993 года. По-видимому, именно этот фактор и вызвал выпрежзложенные особенности развития *A. gerens* в 1994 году.

За период исследований (1993-1995 годы) каких-либо морфологических аномалий, а также существенных изменений в численном и видовом составе растений обнаружено не было.

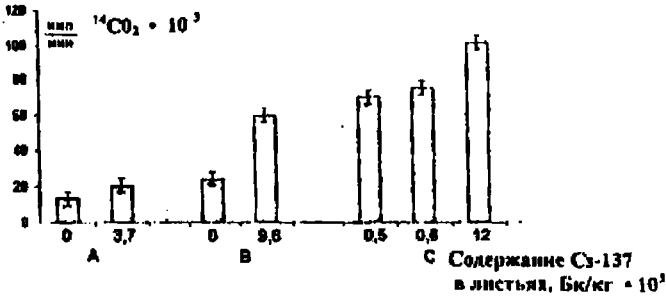
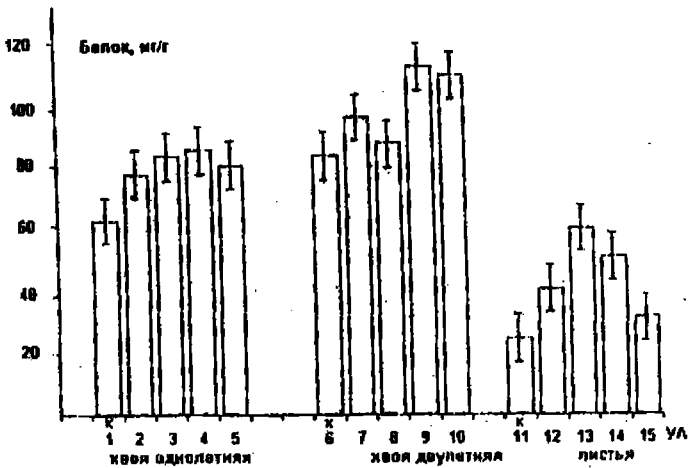


Рис. 2. Интенсивность фотосинтеза и УА листьев разных видов растений (А- *T. pratense*; В- *A. gerens*; С- *P. perforatum*)



1 (к) - контроль; 2 - $1,5 \cdot 10^4$; 3 - $3,5 \cdot 10^4$; 4 - $13,1 \cdot 10^4$; 5 - $91,1 \cdot 10^4$;
 6 (к) - контроль; 7 - $0,3 \cdot 10^4$; 8 - $1,2 \cdot 10^4$; 9 - $3,2 \cdot 10^4$; 10 - $8,5 \cdot 10^4$;
 11 (к) - контроль; 12 - $1,1 \cdot 10^4$; 13 - $1,4 \cdot 10^4$; 14 - $1,7 \cdot 10^4$; 15 - $3,7 \cdot 10^4$;

Рис. 3. Содержание белка (мг/г сырого веса) в хвое *Pinus silvestris* и листьях *Agropyron gerens* в зависимости от удельной активности фитомассы (Бк/кг).

1. РАСЧЕТ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ДЛЯ ИЗУЧЕННЫХ ВИДОВ

Одной из задач работы являлась разработка метода расчета поглощенных доз для травянистых растений загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса.

Объектом для расчета служила тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), произраставшая в пределах опытного участка 1.

Период жизни растения разделяется на следующие циклы (Тимофеевка луговая, 1949):

1) большой цикл жизни - от прорастания семени до отмирания побегов последнего поколения, возникших вегетативным путем (до 7 лет). 2) малый цикл жизни - жизнь одного поколения побегов (около года). 3) цикл сезонной вегетации - в пределах малого цикла жизни.

В условиях юго-востока Беларуси цикл сезонной вегетации Тимофеевки луговой начинается при температуре $+5^{\circ}\text{C}$. Его продолжительность зависит от погодных условий и составляет примерно 180 суток.

Основанием для расчета служили следующие данные по радиационной обстановке на опытном участке 1 (июль 1994 года): УА почвы по ^{137}Cs - 270 Бк/г, МЭД на поверхности почвы - 1,45 мР/ч, на высоте 1 м - 1,20 мР/ч. Содержание Cs-137 в надземной фитомассе тимофеевки луговой - 9,5 Бк/г, в корнях - 3,9 Бк/г. Содержание Sr-90 в почве составляло - 4,6 Бк/г, в надземной фитомассе - 4,4 Бк/г (по данным лаборатории радиохимии почв Института радиобиологии). Sr-90 преимущественно (80 - 94 %) накапливается в надземной массе растений. Значит, в корнях максимальная УА ^{90}Sr - 0,9 Бк/г. (При отсутствии данных по содержанию Sr-90 можно использовать литературные по соотношению $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ для исследуемого района). Плотность потока бета-частиц составляла 10 частиц/(см²·с). Следует подчеркнуть, что в течение вегетации УА Cs-137 в растениях практически не изменялась.

Коэффициент пересчета экспозиционной дозы Кл/кг (Р) в поглощенную (сГр) для биологических тканей, с погрешностью в пределах 5 %, можно принять равным единице (Гусев и др., 1989). Таким образом, за период вегетации в 180 суток, поглощенная доза, обусловленная внешним гамма - излучением для надземной фитомассы, включая лист, стебель и колос составляет $\sim 0,06$ Гр.

Для оценки вклада внешнего бета-излучения предварительно вычисляли граничную энергию спектра частиц по формуле (Богданов и др., 1990):

$$E_{\beta} = \frac{R_{\alpha} + 0,133}{0,542} \quad \text{МэВ} \quad (1)$$

где R_{α} - толщина алюминиевого фильтра, г/см², которая в данном случае составила - 0,054 г/см². Значит, $E_{\beta} = 0,35$ МэВ.

При определении поглощенной дозы использовалось выражение:

$$P = \Phi \cdot K_{\beta} \quad \text{сГр/с} \quad (2)$$

где Φ - плотность потока бета-частиц/ (см² · с⁻¹), Kd - дозовый коэффициент. При энергии 0,35 МэВ, исходя из приведенной в работе (Радиобиологический справочник, 1992) таблицы N11, Kd можно принять равным $7,4 \cdot 10^{-8}$ сГр·см² / (частица). Таким образом, за 180 дней от внешнего бета-излучения, поглощенная доза растениями составляла ~0,01 Гр.

Для расчета дозы внутреннего излучения от инкорпорированных ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr использовалась формула (Бударков и др., 1992):

$$P = A \cdot C \cdot E_{cp} \quad \text{Гр/мин} \quad (3)$$

где A - константа, равная $9,58 \cdot 10^{-9}$ Гр/мин, при использовании УА в Бк/г; C - УА нуклида в ткани, Бк/г; E_{cp} - средняя энергия частиц МэВ.

Подставив приведенные величины в формулу (3), находим для фитомассы тимофеевки луговой, дозу от внутреннего облучения равную ~0,01 Гр за 180 суток.

В течение онтогенеза изменяется чувствительность организма к действию радиации. Расчет получаемой растением дозы на важнейших этапах вегетации, приводит к следующим результатам (табл.2).

Таблица 2

Дозы, получаемые *Ph. pratense* от гамма- и бета-излучений в различные периоды сезонной вегетации

Фаза вегетации	Число суток от начала роста	Поглощенная доза, Гр	
		от γ -излучения	от β -излучения
Период подзёмного роста	20	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Начало цветения	67	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Конец плодоношения	97	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$

По предложенному методу подсчета, за малый жизненный цикл (1 год) для корневой системы поглощенная доза составляет ~0,3 Гр, а для растения в целом ~0,4 Гр.

Очевидно, что исследуемый участок загрязнен также альфа-излучающими элементами. Однако, как свидетельствуют результаты исследований приведенных в работе (Якушвили и инш., 1991) УА ²³⁸U, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, как правило, на два порядка ниже, чем Cs-137. Так, на злаково-разнотравном лугу у д. Борщевка (30 км. зона), максимальная УА фитомассы по Pu составляла 0,70 Бк/г.

Применяя формулу (Булдаков, 1990):

$$D = 9,6 \cdot 10^{-6} E \cdot C \quad \text{Гр/мин} \quad (4)$$

где D - поглощенная доза, Гр, E - средняя энергия альфа-излучения, МэВ (для Рс - 5,4 МэВ), C - удельная активность нуклида в ткани, кБк/г, получаем за 180 суток для фитомассы незначительную дозу - $9,5 \cdot 10^{-3}$ Гр.

На участке у д. Радин для пырея ползучего (УА фитомассы ^{137}Cs - 8,9 Бк/г, УА корней - 59,9 Бк/г), зверобоя продырявленного (УА фитомассы - 3,4 Бк/г, УА корней - 3,6 Бк/г) величины поглощенных доз будут около 0,4 Гр в год. (значения МЭД), плотности потока бета-частиц для пырея и зверобоя будут такими же, как и для тимopheевки).

Для доминантов фитоценозов у д. Бабчин (МЭД на поверхности почвы - 0,14 мР/ч, на высоте 1 м. - 0,09 мР/ч, УА почвы - 24 Бк/г, плотность потока бета частиц - 1,7 частиц / (см²·с), УА фитомассы пырея ползучего - 1,6 Бк/г) и у д. Ломачи (МЭД на поверхности почвы - 0,12 мР/ч, на высоте 1 м - 0,07 мР/ч, УА почвы - 31 Бк/г, УА фитомассы овсяницы луговой - 0,3 Бк/г, плотность потока частиц - 1,2 частиц / (см²·с)), значения поглощенных доз не превышали ~0,3 Гр.

Полученные значения поглощенных доз гораздо меньше эмпирически установленных (Спирин, Романов, 1991) критических доз для травянистых растений, при которых могут проявляться обратимые и или необратимые изменения в составе фитоценозов

В работе для оценки взаимосвязи воздействия биотических и абиотических факторов биогеоценозов применялся комплексный подход. Это связано с тем, что невозможно определить степень влияния атомной радиации на растительный мир как основу жизни, без изучения закономерностей миграции нуклидов в системе "почва-растение", без знания радиационной обстановки, климатических особенностей местности, почвенных характеристик, сукцессионных процессов в сообществах.

Выявленное отсутствие морфологических аномалий у растений, стабильность их численного и видового состава, наличие нормального содержания фотосинтетических пигментов, материальной основы фотосинтеза, свидетельствует о достаточно высокой адаптационной способности изученных видов. Это позволяет предположить, что при создавшейся радиологической обстановке, каких-либо аномальных процессов в естественных травянистых сообществах в ближайшем будущем не предвидится.

Однако, значительное содержание Cs-137 в фитомассе травянистых растений, древесины лесобразующих пород является потенциально опасным источником загрязнения более высоких уровней экологической пирамиды, включая и человека.

ВЫВОДЫ

1. На полигонах, являющихся репрезентативными для Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, основное количество радиоцезия (до 94,6 %) продолжает оставаться, в течение 10 лет после аварии на ЧАЭС, в почвенном слое 0-5 см, (удельная активность почвы фитоценоза у д. Радни - 550300 Бк/кг; у д. Бабчин - 50718 Бк/кг; у д. Ломачи - 77274 Бк/кг). Высокое содержание радиоцезия в верхнем слое почвы свидетельствует о его потенциальной доступности для корневой системы растений.

2. При увеличении удельной активности почвы наблюдается снижение коэффициента накопления Cs-137 растениями, что позволяет предположить существование "порога" поглощения ими данного радионуклида.

3. Существенное значение для поступления радиоцезия в фитомассу, по сравнению с другими физико-химическими свойствами почвы имеет ее кислотность. У *Agropyron repens* L., *Phleum pratense* L., *Hypericum perforatum* L. с увеличением кислотности почвы от 5,62 до 7,73 единиц pH возрастала интенсивность поглощения Cs-137.

4. С увеличением удельной активности листьев до $9,6 \cdot 10^3$ Бк/кг у *Agropyron repens* L., до $12 \cdot 10^3$ Бк/кг у *Hypericum perforatum* L., до $3,7 \cdot 10^3$ Бк/кг у *Trifolium pratense* L. возрастала интенсивность фотосинтеза.

5. Содержание хлорофиллов а, б и каротиноидов в листьях изученных растений при значениях удельной активности от $1,7 \cdot 10^3$ Бк/кг до $3,8 \cdot 10^4$ Бк/кг по Cs-137 не претерпевает значительных изменений, что свидетельствует о стабильности пигментной системы фотосинтетического аппарата при данных уровнях радиоактивного загрязнения.

6. В листьях *Agropyron repens* L. наблюдалась положительная корреляция между удельной активностью фитомассы и содержанием общего белка. Наиболее значимо данная зависимость проявлялась в фазах начала вегетации и цветения. Имеет место также положительная корреляция между поглощенной дозой и суммарным содержанием нуклеиновых кислот в листьях *Dactylis glomerata* L. в фазе начала вегетации.

7. Поглощенные растениями дозы ($\sim 0,3 - 0,4$ Гр за год), рассчитанные с помощью предложенного метода, обуславливают определенные изменения на субклеточном уровне, но не вызывают морфологических изменений и гибели изученных видов и не сказываются на состоянии растительных сообществ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гапоненко В.И., Кравченко В.А., Мацко В.П. Физиолого-биохимические состояние доминирующих видов экосистем, загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса // Тез. докладов Международного рабочего совещания по Чернобыльской экологической исследовательской сети, 19-20 апреля, Минск, 1995. -С.31.

2. Кравченко В.А., Мацко В.П., Гапоненко В.И. Устойчивость естественных биогеоценозов Юго-Востока Беларуси к воздействию радиационного фактора // Тем. ме. С.74

3. Машко В.П., Кравченко В.А., Гапоненко В.И. Основные факторы, определяющие поступление Cs-137 в фитомассу доминирующих компонентов экосистем ППРЭЗ // Там же, - С.89.

4. Кравченко В.А., Машко В.П., Гапоненко В.И. Воздействие малых доз радиации на эколого-физиологическое состояние доминирующих компонентов экосистем Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ППРЭЗ) // "Механизмы действия сверхмалых доз" Тез. докл. 2-го Международного симпозиума, Москва, 23-26 мая 1995 г. - С.38.

5. Кравченко В.А., Машко В.П., Гапоненко В.И. Оценка поглощенных доз для доминирующих компонентов ППРЭЗ // Радиационная биология. Радиэкология. -1996- N2. - С.163-167.

6. Кравченко В.А., Гапоненко В.И., Машко В.П., Грушевская О.М. и др. Эколого-физиологическое состояние некоторых видов естественной астильности ППРЭЗ // Весті АН Беларусі. Сер. біял. навук. -1996.-№ 2.- С.85-87.

7. Gaponenko V. I., Kravchenko V.A., Matsko V.P. The peculiarities of Cs-137 accumulation by plants of meadow phytocenosis and content of photosynthetic pigments and protein in the plants leaves // Abstract of the 24 annual ESNA / IJR meeting, Bulgaria, September, 1994. P. 57-58.

8. Gaponenko V.I., Kravchenko V.A., Matsko V.P., Grushevskaya O.M. The peculiarities of the accumulation of Cs-137 and the content of photosynthetic pigments and protein in plants of natural associations of South-east Belarus // Proceedings of the 24-th annual ESNA / IJR meeting, November, 1994. P.267-276.

9. Kravchenko V.A., Gaponenko V. I., Matsko V. P., Baribin L. M. The accumulation of Chernobyl's accident by natural grasses and the radiation's influence on their physiological and biochemical parameters // Proceeding of the Belarus-Japan Symposium "Acute and late consequences of nuclear catastrophes: Hiroshima-Nagasaki and Chernobyl (Minsk, October, 1994), Tokio, 1994. P. 289-295.

10. Kravchenko V.A., Gaponenko V.I., Matsko V.P. Physiological and biological effects in gamma-irradiated plants and accumulation of chernobyl caesium in them // Abstracts of the Belarus-Japan symposium "Acute and late consequences of nuclear catastrophes." Hiroshima-Nagasaki and Chernobyl Minsk, 3-5 October, 1994. P. 59.

11. Kravchenko V.A., Gaponenko V.I., Matsko V.P., Bondar Yr.I. Peculiarities of radiocesium accumulation by plants and their physiological and biochemical characteristics after Chernobyl's catastrophe // Abstract of the 2-nd International conference "Radiobiological consequences of nuclear accident", Moscow, 25-26 October, 1994. -P.125.

12. Kravchenko V. A., Gaponenko V. I., Matsko V. P. Factors influencing substantially on the intensity of Cs-137 accumulation by certain species of plants of Poleski State Radioecological Reserve // Abstract of 25 annual ESNA / IJR meeting, September 15-19, 1995, Italy. P.80.

РЕЗЮМЕ

Кравченко Вячеслав Анатольевич

**Состояние растений, доминирующих в фитоценозах,
загрязненных радионуклидами черновыльского выброса**

Ключевые слова: растение, фитоценоз, коэффициент накопления, поглощенная доза, удельная активность, хлорофилл, белки, нуклеиновые кислоты.

Объекты исследований: Объектами исследования служили: *Agropyron repens* L., *Trifolium pratense* L., *Phlem pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Hypericum perforatum* L., *Festuca rubra* L., *Pinus sylvestris* L., доминирующие в фитоценозах загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса.

Цель работы: Определить факторы, существенно влияющие на накопление Cs-137 растениями и исследовать действие радиации на важнейшие физиологические характеристики

Методы исследований: гамма-спектрометрия, радиохимический анализ, спектрофотометрия, биометрия, pH-метрия, радиэкологический мониторинг.

Полученные результаты и их новизна: Выявлено влияние на динамику поступления Cs-137 в фитомассу удельной активности почвы, ее кислотности, видовых особенностей растений.

Установлено, что поглощенные растениями дозы ($\sim 0,3 - 0,4$ Гр за год), рассчитанные с помощью предложенного метода, обуславливают определенные изменения на субклеточном уровне, но не вызывают морфологических изменений и гибели изученных видов и образуемых ими растительных сообществ.

Степень использования: Проведенные исследования показывают, что при оценке пригодности природных сообществ загрязненных радионуклидами (за пределами зоны отселения) для хозяйственного использования (заготовление кормов, выпас скота, сбор лекарственных трав и т.д.), наряду с плотностью загрязнения почвы, необходимо учитывать ее кислотность и видовую специфичность растений.

Полученные результаты указывают на необходимость продолжения научного мониторинга за растительными сукцессиями на территориях, загрязненных радионуклидами Чернобыльского выброса.

Разработанный метод расчета поглощенных доз для травянистых растений позволяет в полевых условиях оценивать устойчивость фитоценозов к воздействию радиационного фактора.

Область применения: радиоботаника, экология, физиология растений.

РЭЗЮМЭ

Краўчанка Вячаслаў Анатольевіч

Стан раслін, дамінаючых у фітацэнозах, забруджаных радыенуклідамі чарнобыльскага выкіду

Ключавыя словы: расліна, фітацэноз, каэфіцыент назапашвання, удзельная актыўнасць, паглынутае доза, хларафіл, бялкі, нуклеінавыя кіслоты

Аб'екты даследавання: Аб'ектамі даследавання былі *Agrostopus perena L.*, *Trifolium pratense L.*, *Phlem pratense L.*, *Dactylis glomerata L.*, *Hypericum perforatum L.*, *Festuca rubra L.*, *Pinus sylvestris L.*, адабраныя ў фітацэнозах, забруджаных радыенуклідамі чарнобыльскага выкіду.

Мэта працы: вызначыць фактары, якія істотна ўплываюць на назапашванне Cs-137 раслінамі і даследаваць уздзеянне радыяцыі на важнейшыя фізіялагічныя характарыстыкі.

Метады даследавання: гама-спектраметрыя, радыёхімічны аналіз, спектрафотаметрыя, біяметрыя, pH-метрыя, радыёэкалагічны маніторынг.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Устаноўлен уплыў на дынаміку паступлення Cs-137 у фітамасу удзельнай актыўнасці глебы, яе кіслотнасці, відавой спецыфічнасці раслін.

Устаноўлена, што атрыманыя раслінамі дозы (0,3 - 0,4 Гр за год), разлічаныя пры дапамозе прапанаванага металу, здольны выклікаць змяненні на субклетачным узроўні, але не выклікаюць марфалагічных змен і гібелі вивучаных відаў і ўтвараемых імі супольніцтваў.

Ступень выкарыстання: Вынікі даследаванняў паказваюць, што пры вызначэнні прыгоднасці прыродных фітацэнозаў, забруджаных радыенуклідамі (за межамі зоны адсялення) для гаспадарчага выкарыстання (варыццоўка кармоў, выпас жывёл, збор лекавых траў і г. д.), акрамя іначыльнасці забруджвання глебы, неабходна ўлічваць кіслотнасць яе саявой выцяжкі і відавую спецыфічнасць раслін. Атрыманыя вынікі ўказваюць на неабходнасць працягу навуковага маніторынгу за расліннымі супольнасцямі на тэрыторыях, забруджаных радыенуклідамі чарнобыльскага выкіду.

Распрацаваны метады разліку паглынутага доз, для травяністых раслін дазваляе у палёвых умовах адзначаць устойлівасць фітацэнозаў к уздзеянню радыяцыйнага фактара.

Галіна выкарыстання: радыёэкалогія, экалогія, фізіялогія раслін.

SUMMARY

Kravchenko Viacheslav Anatolevich

State of dominating plants of phytocoenoses polluted with radionuclides from chernobyl release

Key words: plant, phytocenosis, accumulation coefficient, absorbed dose, specific activity, plants, chlorophyll, proteins, nucleic acids

Objective of study: The objects of study were: *Agropyron repens* L., *Trifolium pratense* L., *Phlem pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Hypericum perforatum* L., *Festuca rubra* L., *Pinus sylvestris* L. - picked up in the phytocoenoses polluted with chernobyl radionuclides

Purpose of study: to reveal the factors which influence significantly the Cs-137 accumulation by plants and to investigate the effect of radiation on the most important physiological characteristics.

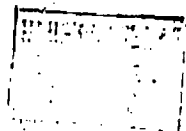
Methods of study: gamma-spectrometry, radiochemical analysis, spectrophotometry, biometry, pH-metry, radioecological monitoring

Obtained results and their novelty: The effect revealed on the dynamics of Cs-137 intake by phytomass, the soil specific activity, its acidity, the specificity of plant species. It was established that the absorbed doses (0,3-0,4 Gy per year) calculated by proposed method, condition certain changes on subcellular level without morphological changes and perishing the studied species and plant communities formed by them.

Degree of use: The implemented studies show that the acidity of soil salt extraction and the specificity of plant species are to be taken into account along with the density of soil pollution in the assessment of convenience of radiocontaminated natural communities (out of the limits of resettlement zone) for economic use (forage provision, pasturing, collection of medical herbs etc.). The obtained results show the necessity to continue the scientific monitoring of vegetable successions on territories polluted with radionuclides from chernobyl release.

The developed method of calculation of absorbed doses for herbaceous plants allows to assess in field condition the resistance of phytocoenoses to the action of radiation factor.

Field of use: radiobiology, ecology, plant physiology.



Подписано в печать 24.01.97. Формат 60x84 1/16, Офсетная печать

Усл. печ. л. 1,16 Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100 экз. Зак D 133,

Отпечатано в типографии ИПП Минзкомини Республика Беларусь. 220004, Минск, пр. Машерова, 23.

2A425124