

на правах рукописи

Кулиева Гюльнара Александровна

**ТРАНСЛОКАЦИЯ УРАНА-238 ИЗ ПОЧВЫ В РАСТЕНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ЯЧМЕНЯ)**

специальность 03.00.16. - экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва 2004

Работа выполнена на кафедре радиоэкологии экологического факультета Российского университета дружбы народов.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор

А.А. КАСЬЯНЕНКО

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор **В.А. Шевченко**

кандидат биологических наук **М.В. Ивлиев**

Ведущая организация: Факультет почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Защита состоится «10» февраля 2005 г. в 14.00 час. На заседании диссертационного совета Д 212.203.17 в Российском университете дружбы народов по адресу: 113093 Г. Москва, Подольское шоссе, 8/5, экологический факультет РУДН.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского университета дружбы народов по адресу: 117198 г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Автореферат разослан «30» декабря 2004 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор биологических наук, профессор

Н.А. ЧЕРНЫХ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие атомной промышленности и ядерной энергетики, применение в сельском хозяйстве фосфорных удобрений, ведет к загрязнению окружающей природной среды обедненным ураном. В последнее время уран-238 все чаще применяется в военных целях. Примером может служить война в Ираке и Югославии, где применялись снаряды из обедненного урана разного диаметра. Известно, что урановые сердечники диаметром 30 мм содержат 275 г урана-238. При взрыве такого снаряда примерно 70 % его превращается в аэрозоль. Черная урановая пыль разносится ветром на большие расстояния, загрязняя окружающую среду. Значительная доля радионуклида попадает в почву, особенно в верхние ее горизонты.

Увеличение концентрации урана в поверхностных слоях почвы может способствовать накоплению радионуклида в растениях, в том числе и в сельскохозяйственных культурах. Известно, что сельское хозяйство является важным звеном биологической цепи, по которой радионуклиды способны переходить в организм сельскохозяйственных животных и далее – в организм человека.

В связи с этим возникает необходимость изучения миграции урана по трофическим цепям. Одним из звеньев трофической цепи является поступление урана из почвы в растения.

Цель и задачи исследований. Основной целью работы является изучение миграции урана в системе почва-растение на примере растений ячменя.

В соответствии с поставленной целью программой исследований предусматривалось решение следующих задач:

1. Изучить транслокацию U-238 из почвы в растения ячменя.
2. Выявить закономерности распределения U-238 по органам растений.
3. Изучить зависимость аккумуляции U-238 растениями ячменя в зависимости от его содержания в почве.
4. Определить коэффициенты накопления U-238 растениями.

5. Оценить влияние U-238 на морфологические признаки растений ячменя.
6. Сравнить результаты измерений плазменно-эмиссионного и альфа-спектрометрического методов.
7. Изучить цитогенетический эффект при действии урана-238.

Научная новизна. В работе впервые взяты концентрации урана-238, равные концентрациям радионуклида в почвах территорий, подвергшихся обстрелу урановыми снарядами. Определена концентрация урана-238 в урожае ячменя; выявлена закономерность распределения U-238 по органам растений; установлена зависимость между содержанием радионуклида в урожае и количеством подвижных соединений в почве; проведен сравнительный анализ результатов измерений плазменно-эмиссионного и альфа-спектрометрического методов; изучен цитогенетический эффект при действии радионуклида.

Практическая значимость работы. Установленные особенности транслокации обедненного урана из почвы в растения и аккумуляции его растениями следует использовать для прогноза поступления урана в растения на техногенно загрязненных территориях.

Апробация работы. Материалы исследований были доложены на международной конференции «Защита окружающей среды городов и пригородных территорий» (Югославия, Новый Сад, 2003 г.); 6-ой международной конференции «Изучение высоких уровней естественной радиации» (Япония, Осака, 2004), Всероссийских конференциях «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Москва, РУДН, 2003, 2004).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 112 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц и 24 рисунка. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 180 наименований, в том числе 21 зарубежное, и приложения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки транслокации урана из почвы в растения в апреле 2003 г был заложен вегетационный эксперимент. Опыты проводились на экспериментальной базе Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии г. Обнинска под руководством доктора сельскохозяйственных наук Ратникова А.Н.

Дерново-подзолистую легко-суглинистую почву отбирали в лесах Калужской области. Химическая характеристика почвы приведена в таблице 1.

Таблица 1

Химическая характеристика дерново-подзоистой легкосуглинистой почвы

pH _{KCl}	Нг, мг·экв на 100г почвы	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Емкость поглощения	Гумус, %
		мг/100 г почвы		мг экв/100 г почвы			
6,0	1,4	6,0	10,7	9,8	0,4	22,9	1,3

Тестовая культура – ячмень, сорт «Эльф-Суперэлита». Опыт проводился в 5-ти килограммовых сосудах высотой 20 см и диаметром 20 см в четырехкратной повторности. В качестве фона вносят N₆₀P₆₀K₆₀.

В почву было добавлено соединение нитрата уранила UO₂(NO₃)₂·6H₂O. Концентрация вносимого урана составляла 0, 50, 100 и 150 мг на кг почвы. Гомогенность радионуклида и питательных веществ достигается тщательным перемешиванием всех компонентов вручную.

Содержание азота в соединении нитрата уранила не оказывало влияния на общую концентрацию азота в опыте. С соединением UO₂(NO₃)₂·6H₂O в почву

дополнительно вносится 0,8 % азота от его количества, вносимого в почву с питательными веществами.

В сосуды с внесенным в почву ураном посеяли по 21 зерну.

Опыт был повторен в тех же сосудах в 2004 году. В почву вновь вносили питательные вещества и тщательно все перемешивали.

Определение содержания урана в почве проводили гамма-спектрометрическим методом согласно «Методике измерений удельной активности радионуклидов в объемных образцах на гамма-спектрометре ACCUSPEC» с использованием многоканального анализатора «InSpector-2000» фирмы «Canberra».

Содержание урана в соломе и зерне проводили по методике разработанной ЦИНАО (Методические указания..., 1989) двумя методами: плазменно-эмиссионным и альфа-спектрометрическим.

Одновременно в 2003 г был поставлен другой эксперимент, посвященный изучению цитогенетических эффектов при действии урана на меристематические клетки ячменя. Опыты проводились в научно-исследовательском институте генетики им. Н.И. Вавилова под руководством доктора биологических наук Кальченко В.А.

В качестве изучаемой культуры был взят ячмень того же сорта «Эльф-Суперэлита». Сухие семена ячменя замачивали в растворе азотнокислого уранила $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и проращивали в чашках Петри по 50 штук. Повторность опыта — двукратная. Время воздействия урана-238 на семена и проростки около 30 часов. Концентрация урана в растворах: 0; 2; 10; 20; 100; 200 мг/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поведение урана в почве. Трансформация соединений изучаемого радионуклида в почве и потребление их растениями является сложной функцией, зависящей от многих переменных: состава почвы, свойств самого

радионуклида, почвенно-экологических условий роста и развития растений. Когда радионуклид в растворимой форме $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ попадает в почву, он может быть адсорбирован поглотителем на поверхности почвенных частиц, войти в ионный обмен, вступить в соединение с оксидом или диоксидом или сульфидом, войти в комплексное соединение с органическими составляющими или остаться в ионной форме.

Результаты спектрометрического анализа почвы показаны на рисунке 1.

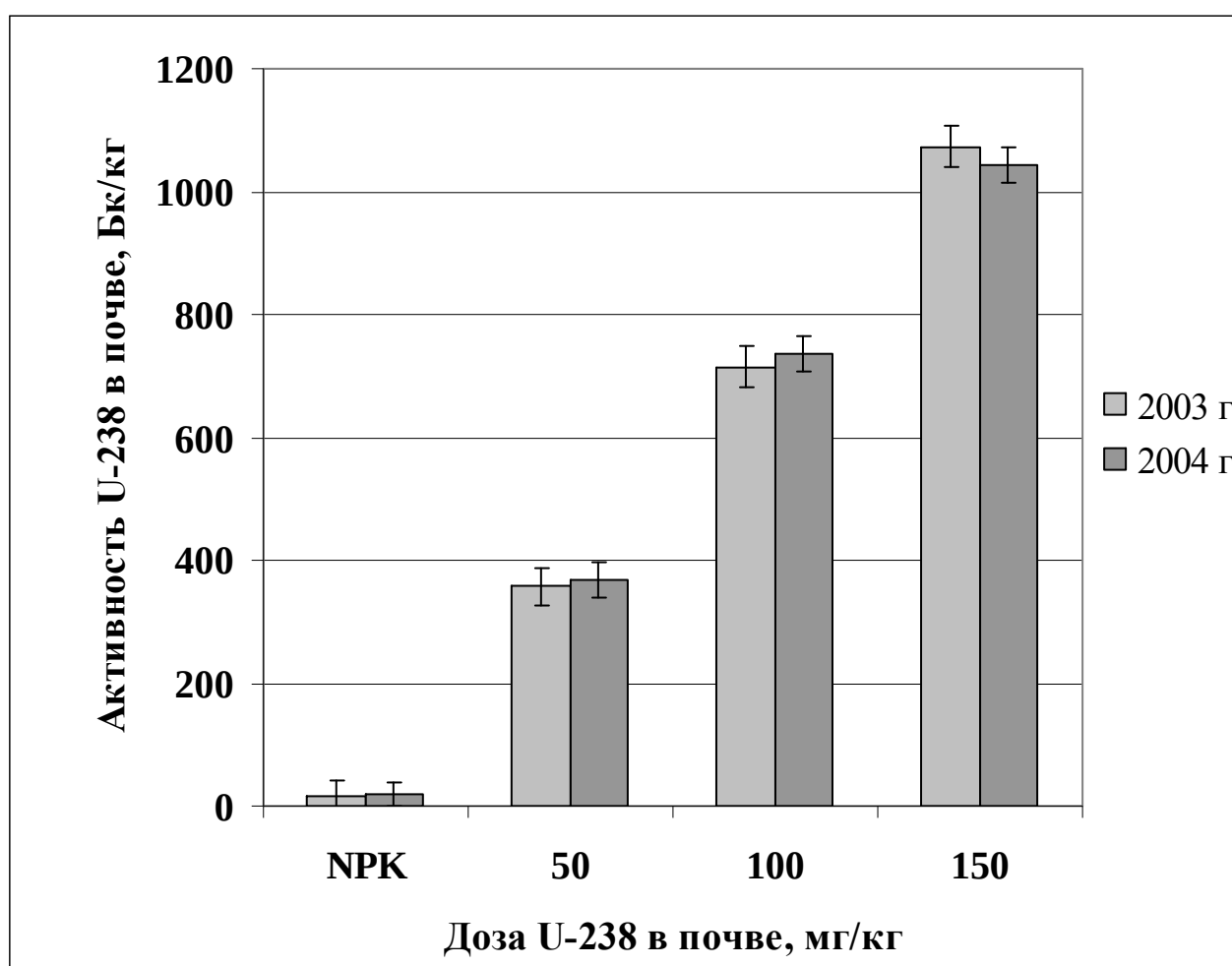


Рисунок 1. Содержание урана в почве

Транслокация урана в растения. Основными факторами, определяющими степень перехода урана из почвы в растения, являются: концентрация урана в почве; физиологические особенности растений; адаптация к геохимическому фону; время года; содержание подвижных форм радионуклида в почве; химический состав почв и растения. Так, в дерново-подзолистых почвах наблюдается более высокая подвижность урана по сравнению с другими типами почв. Это объясняется меньшим содержанием органического вещества и легким механическим составом дерново-подзолистых почв.

Поступая в растения в небольшом количестве и становясь в них составной частью различных ферментов, микроэлементы выполняют сервисные функции в процессах метаболизма. Когда же в среду поступают высокие концентрации микроэлементов, они становятся токсичными для растительных организмов.

Токсическое действие урана начинает проявляться с ранних стадий развития растений, о чем свидетельствуют наблюдения за следующими морфологическими признаками: высотой стеблей, кустистостью, продуктивными (стебли с колосом) и непродуктивными (без колоса) стеблями, количеством колосьев.

Как показали результаты исследований, увеличение дозы урана от 0 до 150 мг/кг почвы способствовало угнетению роста растений ячменя, что очевидно обусловлено токсическим действием урана на развитие корневой системы. Разница в высоте стеблей по сравнению с контролем на этапах колошения и спелости составляла в среднем 5-10 см (табл. 1, 2). Замедление роста растений объясняется замедлением роста апикальных меристем стебля и темпов органогенеза.

Таблица 1

Динамика роста стеблей ячменя (2003 г)

Концентрация U-238 в почве, мг/кг	Средняя длина стеблей ячменя, см			
	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Спелость
Контроль	38±1,5	45±2,6	66±2,4	72±3,2
50	36±1,8	44±2,5	65±2,4	70±3,2
100	35±1,7	43±2,3	62±2,3	62±2,8
150	35±1,9	42±1,9	62±2,3	62±2,5

Таблица 2

Динамика роста стеблей ячменя (2004 г)

Концентрация U-238 в почве, мг/кг	Средняя длина стеблей ячменя, см			
	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Спелость
Контроль	40±2,3	49±2,5	68±3,4	74±2,5
50	38±2,3	45±2,4	63±2,4	70±2,0
100	36±2,3	43±2,4	60±2,3	63±2,2
150	35±2,2	40±2,2	59±1,8	62±2,3

Согласно полученным данным, количество выполненных и невыполненных стеблей в 2004 г увеличилось по сравнению с 2003 г в 2-3-раза (рис. 2, 3). Это можно объяснить неравномерным распределением урана-238 и NPK в сосудах в 2003 г. Кроме этого средняя температура в апреле 2003 г была выше, чем в апреле 2004 г. Известно, что климатические условия оказывают влияние на рост и развитие растений и повышенная температура способствует угнетению роста растений.

Избыток урана приводит к дисбалансу компонентов питания и отрицательно влияет на функции многих биологически активных соединений (витаминов, гормонов и т.д.). Продуктивность при этом падает (рис. 4).

В первый год наблюдений масса зерен немного увеличивалась с ростом концентрации урана в почве, а затем снижалась, что объясняется неравномерным распределением радионуклида в почве. Во второй год урожайность уменьшилась в среднем на 5-15% (табл. 3).

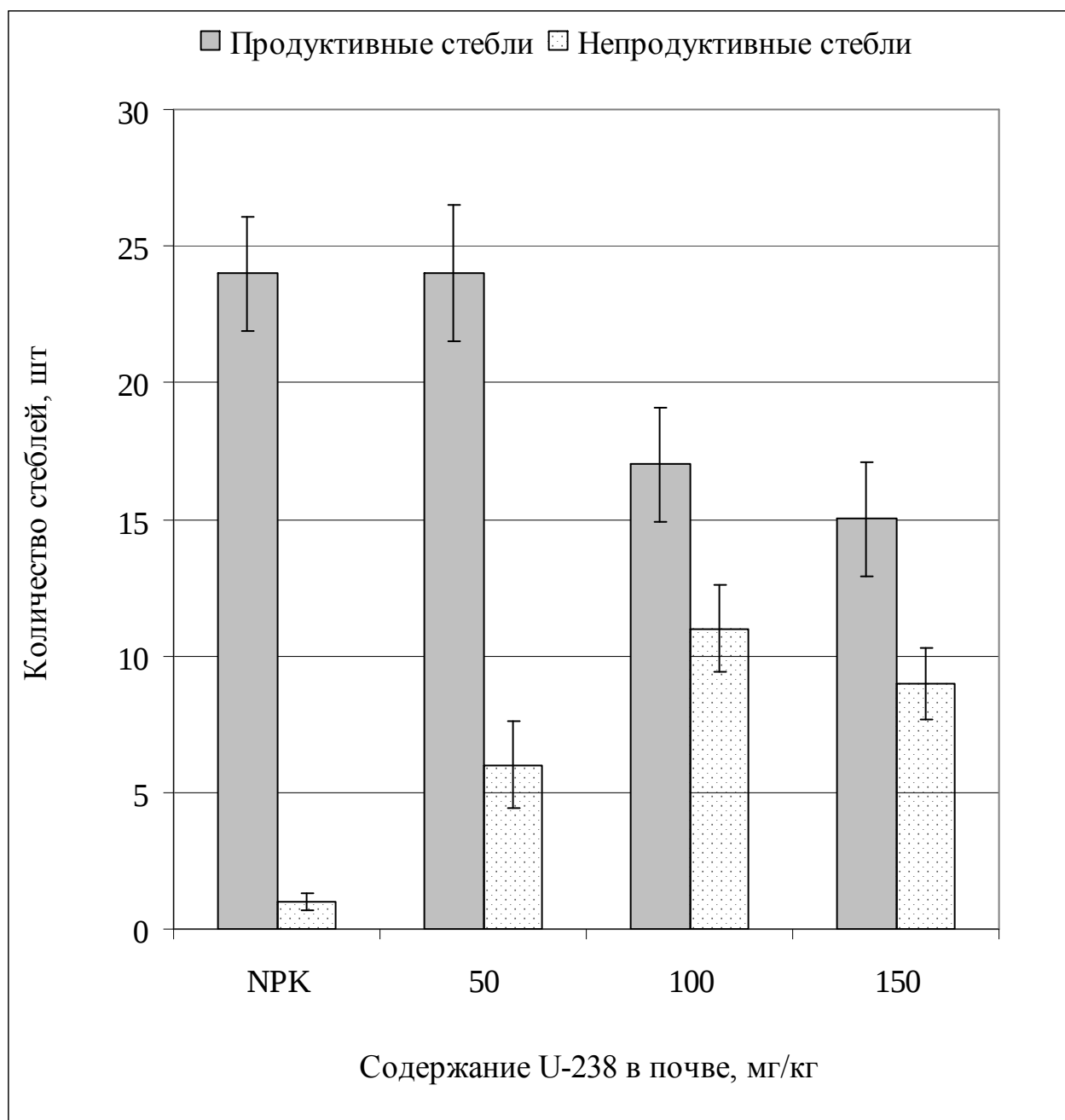


Рисунок 2. Результаты структуры урожая в 2003 г

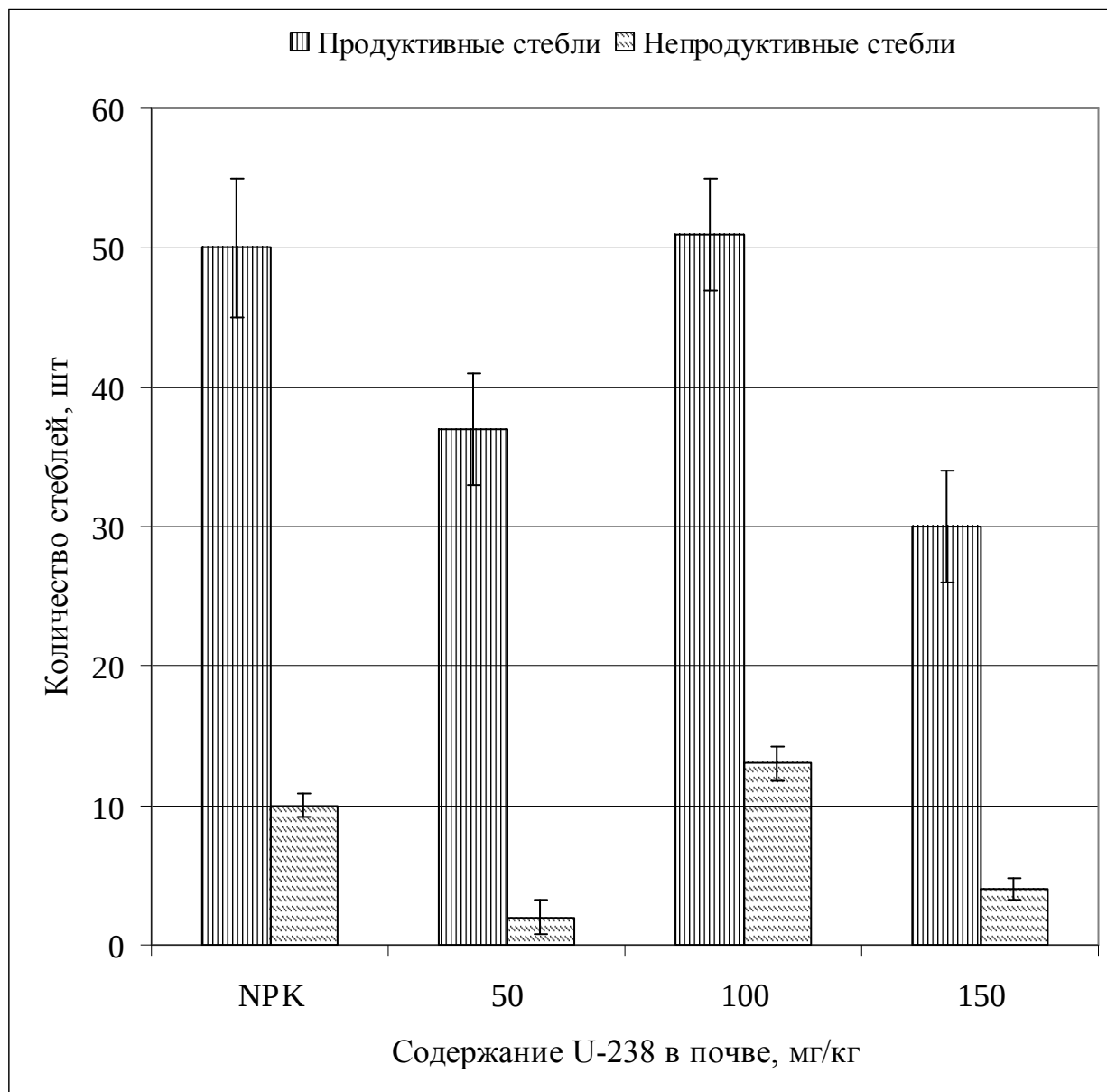


Рисунок 3. Результаты структуры урожая в 2004 г

Влияние урана на урожай ячменя

Вариант	Вес 1000 зерен, (2003 г), г	Вес 1000 зерен, (2004 г), г
NPK	35,1	46,4
U(50)	38,5	42,8
U(100)	39,7	41,8
U(150)	39,2	39,8
HCP _{0,95}	0,2	0,3

Определение урана-238 в пробах растений плазменно-эмиссионным методом. Метод плазменной эмиссии является новым. Обычно концентрацию урана измеряют на α -спектрометре. Однако масса навесок в опыте в 5 – 20 раз меньше массы необходимой для достоверного определения радионуклида в пробах методом α -спектрометрии. Поэтому параллельно с α -спектрометрией (для проб с предполагаемым максимальным содержанием урана) был использован метод плазменной эмиссии после радиохимического выделения U-238.

Данные о транслокации урана-238 из почвы в растения ячменя представлены на рисунках 4, 5. Отмечена прямая зависимость между содержанием радионуклида в почве и урожае в первом и втором годах наблюдений. Следует отметить, что уран-238 концентрируется в большей степени в вегетативной массе. Соотношение между концентрацией его в вегетативной массе и репродуктивных органах составляет порядка 2,6.

В условиях опыта значительного накопления радионуклида в урожае не отмечалось. Так, коэффициенты накопления урана-238 в хозяйственно-ценной части урожая колебались от 1,5 до $5,0 \cdot 10^{-3}$, а в соломе — от 8 до $23 \cdot 10^{-3}$ (рис. 6, 7). Это достаточно низкие показатели транслокации урана из почвы в растения, по сравнению с другими радионуклидами. Например, коэффициент накопления для стронция $K_n = 1$.

При концентрации урана в почве до 100 мг/кг коэффициент накопления почти не изменяется и составляет в среднем $10 \cdot 10^{-3}$. При 150 мг урана/кг почвы

коэффициент накопления резко возрастает до $14 \cdot 10^{-3}$ (в 2003 г) и $23 \cdot 10^{-3}$ (в 2004 г). Это связано с токсическим действием радионуклида на корневую систему растений.

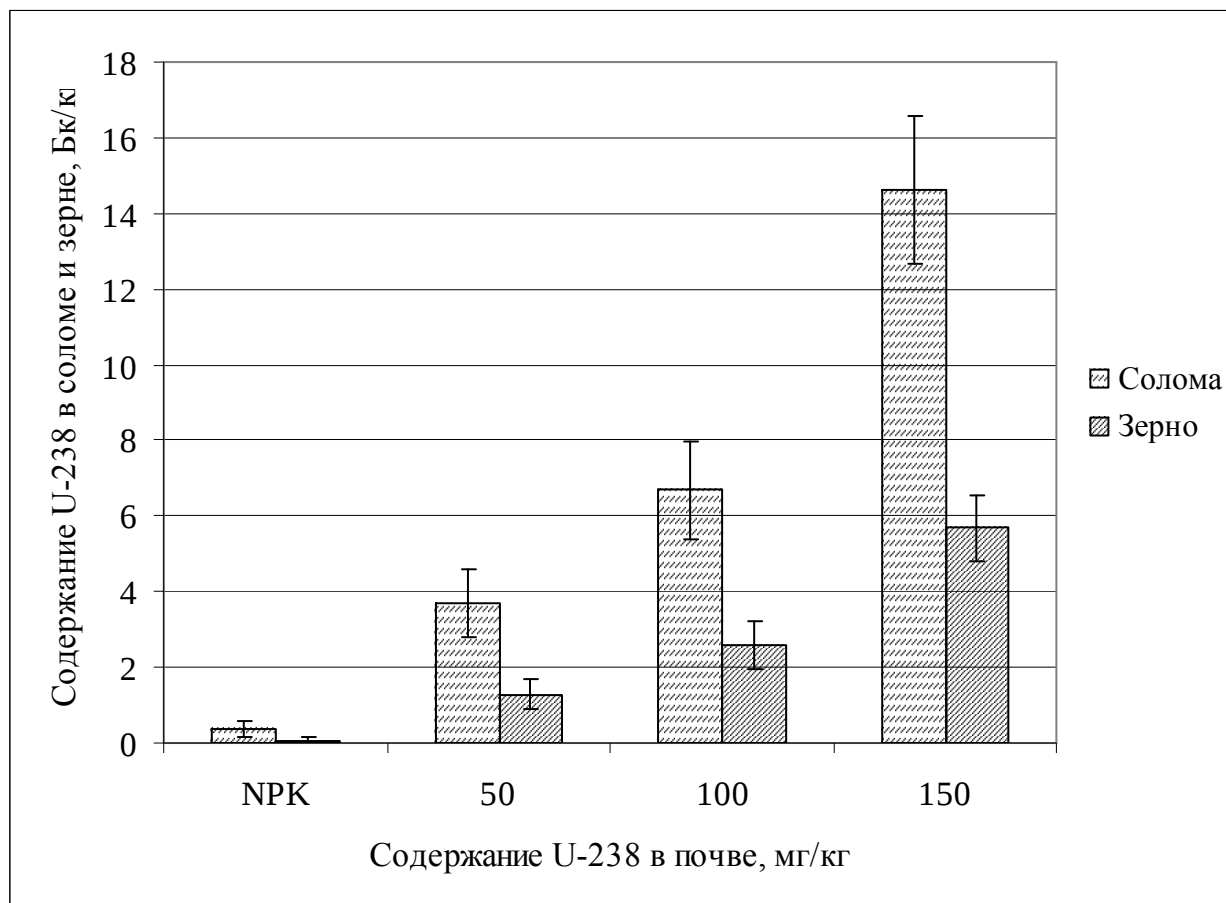


Рисунок 4. Распределение урана-238 по органам растений (2003 г)

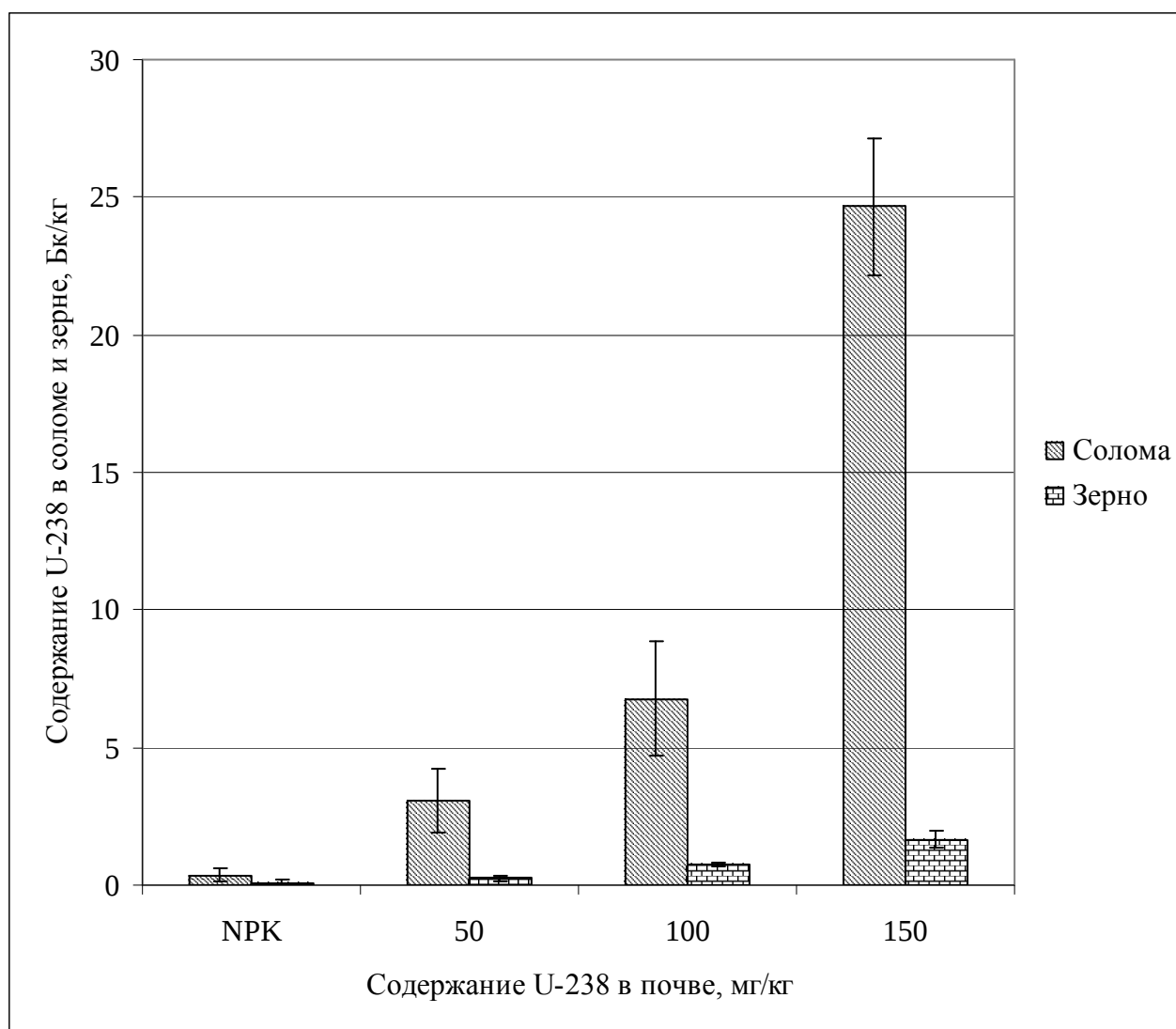


Рисунок 5. Распределение урана-238 по органам растений (2004 г)

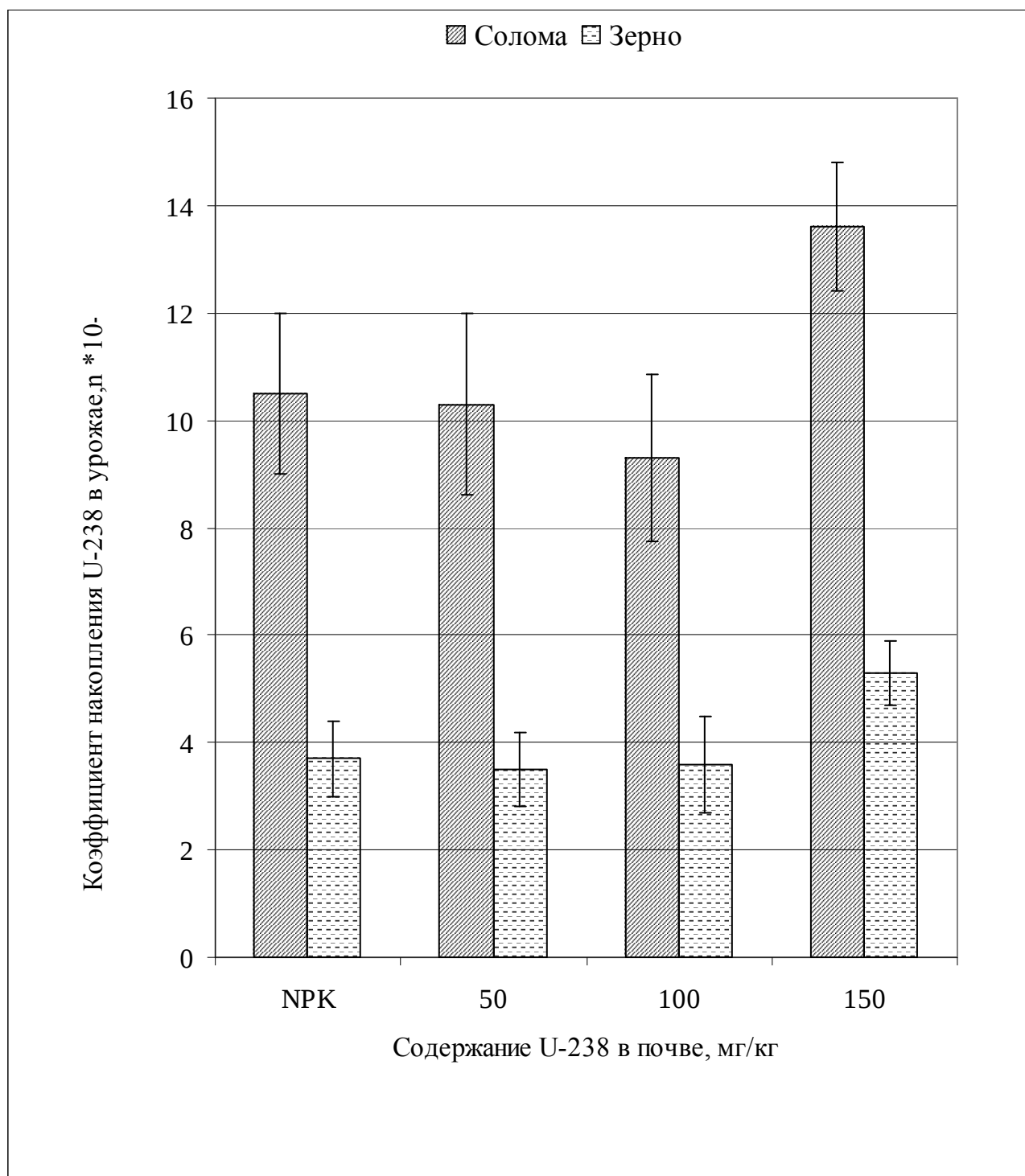


Рисунок 6. Коэффициенты накопления урана-238 в урожае в 2003 г

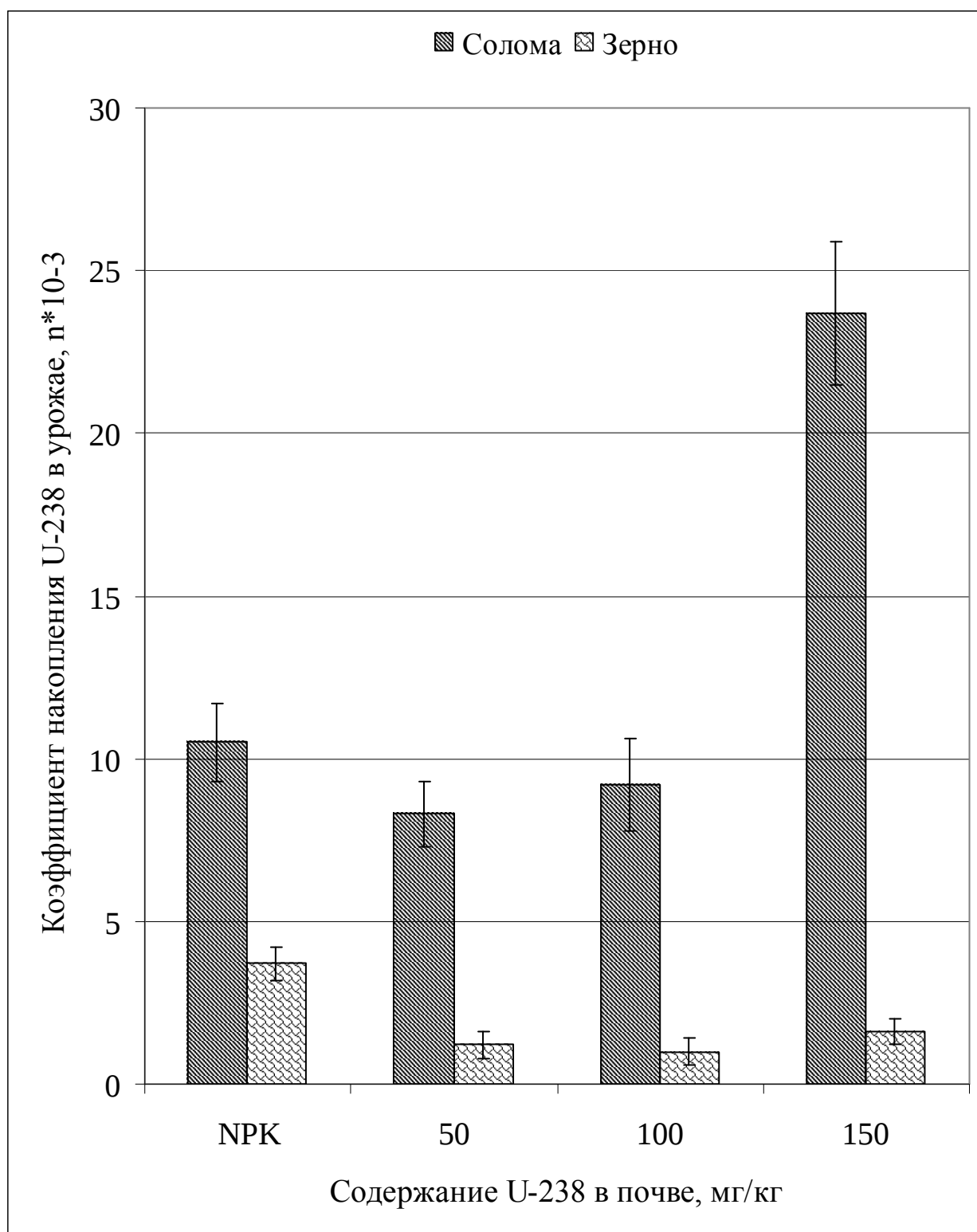


Рисунок 7. Коэффициенты накопления урана-238 в урожае в 2004 г

Уран в изученных концентрациях немного задерживает ростовые процессы растений ячменя. В процессе двухлетних исследований установлена прямая, но не пропорциональная зависимость между содержанием урана в почве и растениях. С ростом концентрации урана в почве до 150 мг/кг содержание радионуклида в соломе и зерне увеличивается почти в 4 раза по сравнению с контролем.

Определение урана-238 в пробах растений методом альфа-спектрометрии. При определении изотопов урана альфа-спектрометр обеспечивает чувствительность 12 Бк/кг, поэтому определение урана проводилось в пробах с наибольшим его содержанием для сравнения с методом ИСП-спектрометрии. Многократный анализ проб растений с известным содержанием радионуклида в интервале концентраций от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ г/г показал, что химический выход изотопов урана несущественно зависит от их содержания и с надежностью 0,95 составляет примерно 85 ± 7 % (Титаева, 1984).

Концентрация урана в соломе с поправкой на хим. выход представлена на рисунке 8. Вследствие низкой чувствительности α -спектрометра и незначительного перехода урана-238 из почвы в зерно, концентрацию радионуклида удалось определить только для варианта с максимальным количеством урана в почве (150 мг/кг). Содержание U-238 в зерне составляет $1,534 \text{ Бк/кг} \pm 0,583$.

Коэффициенты накопления урана в урожае, рассчитанные на основе данных, полученных методом альфа-спектрометрии, колеблются от 5 до $16 \cdot 10^{-3}$ (рис. 9) и соответствуют результатам ИСП-спектрометрии.

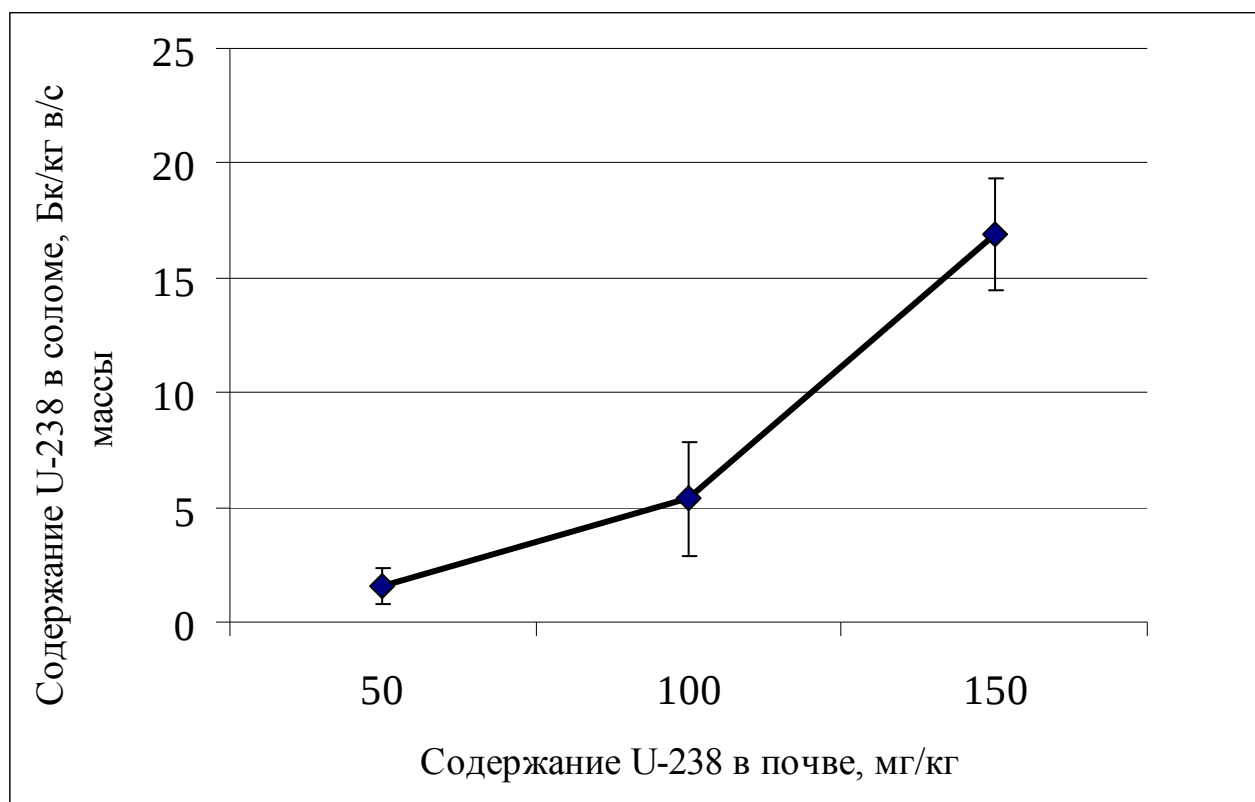


Рисунок 8. Концентрация U-238 в соломе (с поправкой на хим. выход)

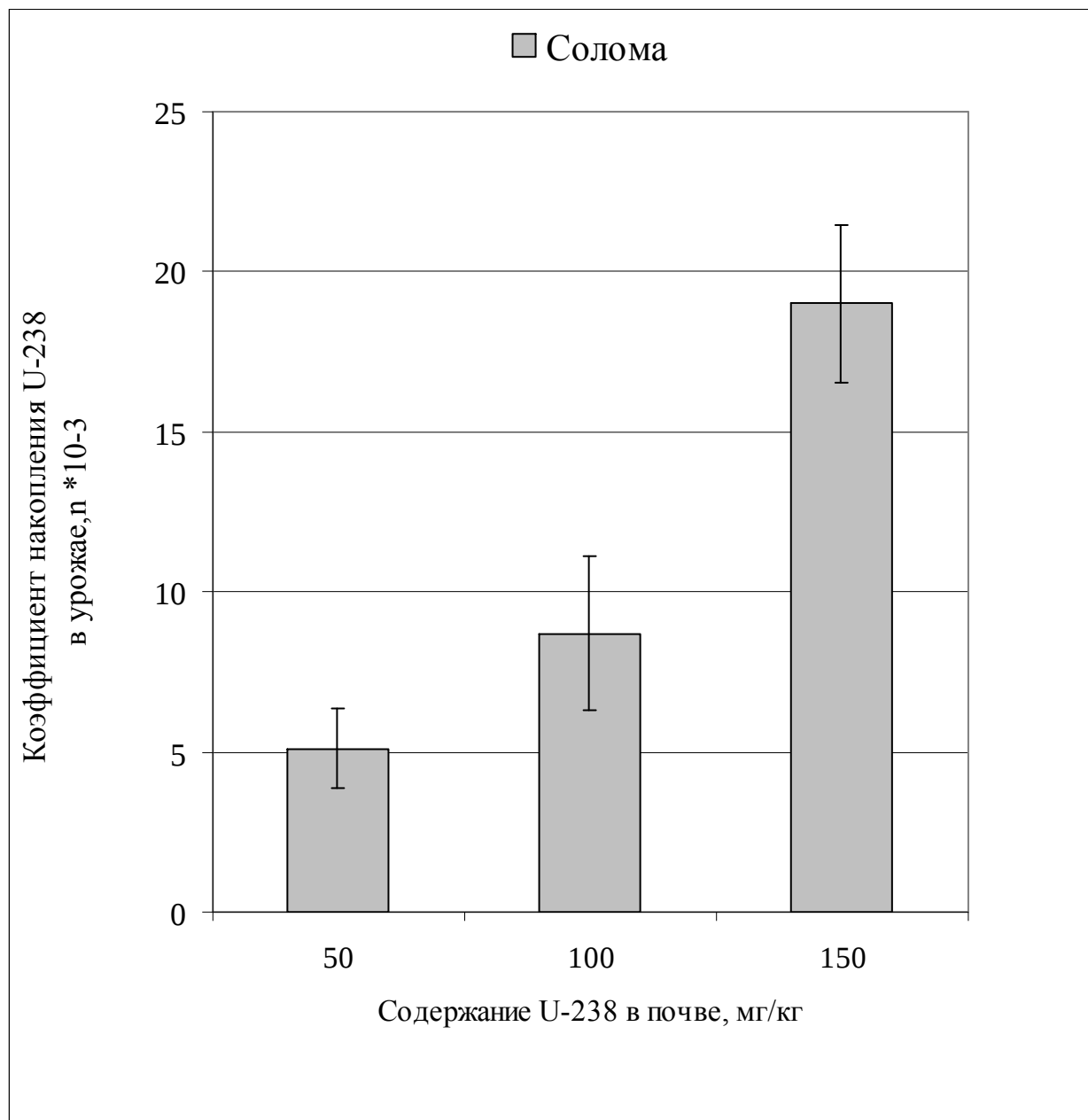


Рисунок 9. Коэффициент накопления U-238 в урожай в 2004 г

Цитогенетические эффекты урана-238, инкорпорированного в семена ячменя. На рисунке 10 представлены данные по анализу aberrаций хромосом в меристематических клетках ячменя, заключенных и пророщенных в воде, содержащей разные концентрации урана-238. При концентрациях урана-238 от

0 до 200 мг/л воды не выявлен достоверный цитогенетический эффект. В варианте опыта с концентрацией 20 мг/л отмечено увеличение уровня клеток с абберациями хромосом, но это увеличение не достоверно.

Повышение концентрации урана до 800 мг/л способствовало нарушению процесса деления клеток и появлению многоядерных клеток. Содержание урана-238 в растворе в количестве 2 г/л воды сопровождалось полным разрушением клеток.

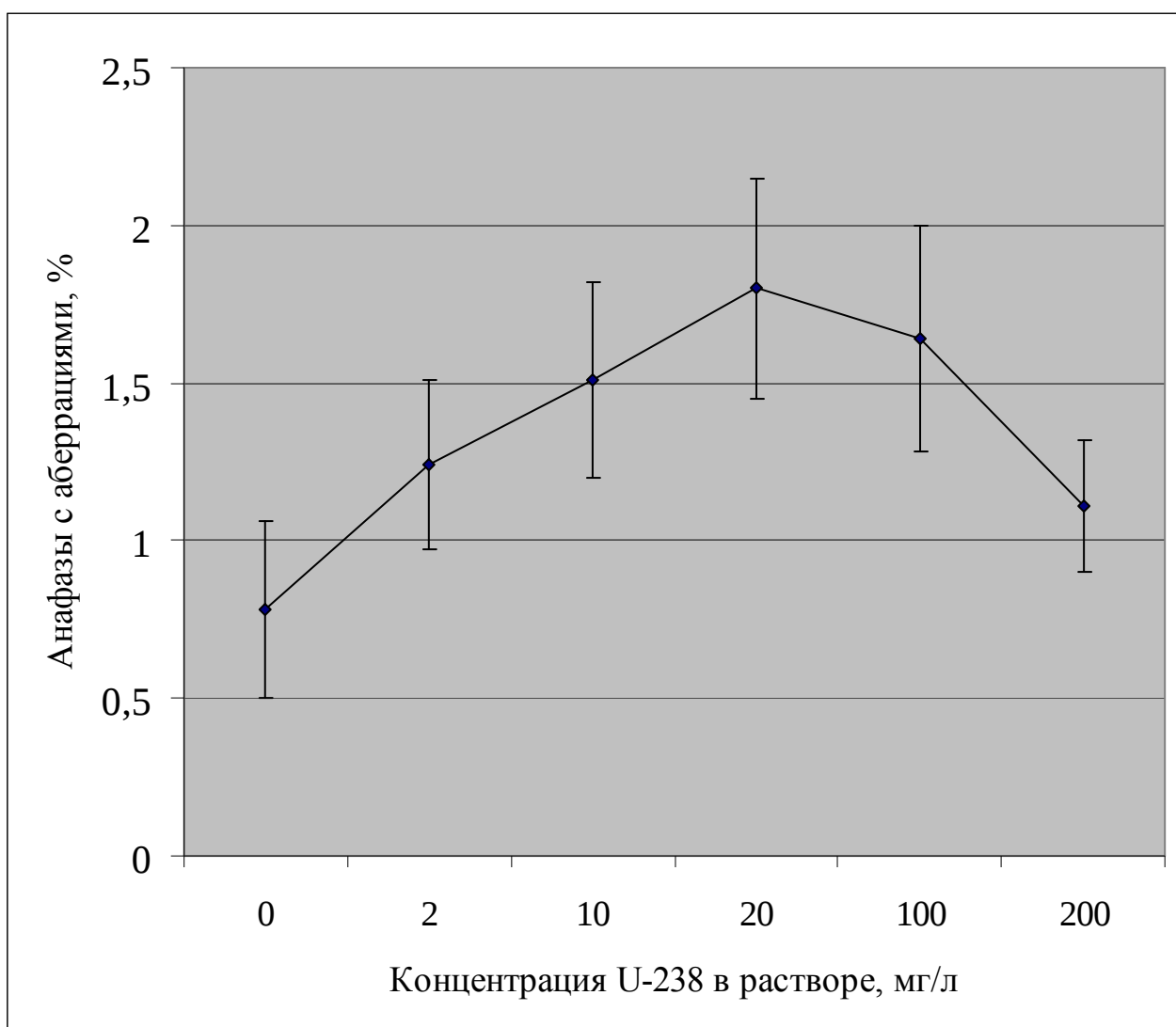


Рисунок 10. Цитогенетический эффект U-238 в проростках ячменя

ВЫВОДЫ

1. Уран-238 относится к элементам с «барьерным» типом поглощения корневыми системами растений, максимальное его количество накапливается в корнях. Вынос радионуклида в надземную часть растений в условиях вегетационного опыта был крайне незначительным и составил менее 0,06 % от его количества в почве, что объясняется низким переходом урана-238 из почвы в растения.

2. С увеличением биомассы соломы в 1,5 раза концентрация урана-238 в хозяйственно-ценной части растений уменьшилась примерно в 3 раза. При чем уровни содержания урана в соломе ячменя выше, чем в зерне примерно в 2,5-8 раз.

3. Установлено, что при концентрации урана-238 от 0 до 100 мг/кг почвы биометрические параметры растений сильно не различались. Однако при концентрации урана — 150 мг/кг почвы наблюдалось заметное угнетение растений, проявлявшееся в снижении роста примерно в 1,2 раза по сравнению с контролем.

4. Вследствие высокой токсичности соединений урана и значительной концентрацией его в почве (100, 150 мг/кг почвы), данный радионуклид оказывает негативное воздействие на развитие корневой системы растений ячменя, что приводит к снижению биомассы соломы в 1,5-2,0 раза, зерна — в 1,2 раза по сравнению с контролем.

5. На основе полученных экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты накопления, которые можно использовать для прогноза поступления урана-238 в растения на техногенно загрязненных территориях. Коэффициенты накопления в зерне и соломе составляют: $(3,5 - 5,3) \cdot 10^{-3}$, $(10,0 - 13,6) \cdot 10^{-3}$ (2003 г); $(0,7 - 1,6) \cdot 10^{-3}$, $(8,1 - 23,0) \cdot 10^{-3}$ (2004 г) соответственно.

6. Сравнение методов показало, что результаты анализа эмиссии ионов, полученных с помощью плазменно-эмиссионного метода совпадают с результатами α -спектрометрических измерений.

7. Уран-238, присутствующий в растворах до 200 мг/л, не оказывает достоверного влияния на цитогенетический эффект. Установлено, что концентрация радионуклида, порядка 800 мг/л воды, вызывает нарушение процесса деления клеток, что проявляется в появлении многоядерных клеток. В одной клетке находятся 5-6 ядер. При 2 г U-238/л воды наблюдается полное разрушение клеток.

СПИСОК

работ, опубликованных по теме диссертации

1. Касьяненко А.А., Кулиева Г.А. Экологические последствия применения обедненного урана в боезарядах. // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2002. – с.90-99.
2. Kasianenko A.A., Kulieva G.A. Ecological consequences of depleted uranium use in ammunition. – Eco-conference “Environmental protection of urban and suburban settlements”. – Novi Sad, 2003. – p. 69-74.
3. Касьяненко А.А., Кулиева Г.А. Миграция обедненного урана в системе почва-растение./В кн. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Выпуск 4./Под ред. Д.т.н. Касьяненко А.А. – М.: РУДН, 2003. – с. 101-104 (в печати).
4. Касьяненко А.А., Кулиева Г.А., Ратников А.Н., Кальченко В.А.
Действие обедненного урана на сельскохозяйственные культуры./В кн. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Выпуск 4. Ч. 2./Под ред. Д.т.н. Касьяненко А.А. – М.: РУДН, 2003. – с. 128-131 (в печати).
5. Kasianenko A.A., Kulieva G.A., Ratnikov A.N., Kalchenko V.A.
The migration of depleted uranium in the system “soil-plant” and its effect on the plant growth. – 6th International conference on high levels of natural radiation and radon areas. – Osaka, Japan, 2004. – P. 43.
6. Kasianenko A.A., Kulieva G.A., Ratnikov A.N., Jigareva T.L., Kalchenko V.A.. The migration of depleted uranium in the system “soil-plant” and its effect on the plant growth. – International Congress Series, 2004. Published by Elsevier B.V. (в печати).

Кулиева Гюльнара Александровна

Россия

**«Транслокация урана-238 из почвы в растения
(на примере ячменя)»**

Представлены результаты исследований о закономерностях транслокации соединений урана в растения. Изучено распределение радионуклида по органам растений. Установлена связь между накоплением урана растениями и содержанием его соединений в почве. Оценено влияние урана на морфологические признаки растений. Проведена сравнительная оценка результатов измерений плазменно-эмиссионного и альфа-спектрометрического методов. Изучен цитогенетический эффект при действии радионуклида.

Kulieva Gulnara Aleksandrovna

Russia

**«Uranium-238 translocation from soil into plants
(for example barley)»**

The results of the uranium translocation into plants are submitted. The allocation of radionuclide on plants' organs is investigated. The connection between accumulation of uranium in a plant and content of its combinations in soil is fixed. The estimation of uranium influence on morphological signs of plants is carried out. The comparative estimation of measurings plasm-emission and α -spectromical methods is carried out. Citogenetical effect of nuclide influence is investigated.