



Учреждение образования
“Белорусский государственный медицинский университет”
г. Минск



ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕХОДА ОТ УДЕЛЬНОЙ К ПЛОЩАДНОЙ АКТИВНОСТИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК

Кафедра радиационной медицины и экологии

Подготовил студент 2 курса
2201 группы
педиатрического факультета
Снопков В. В.

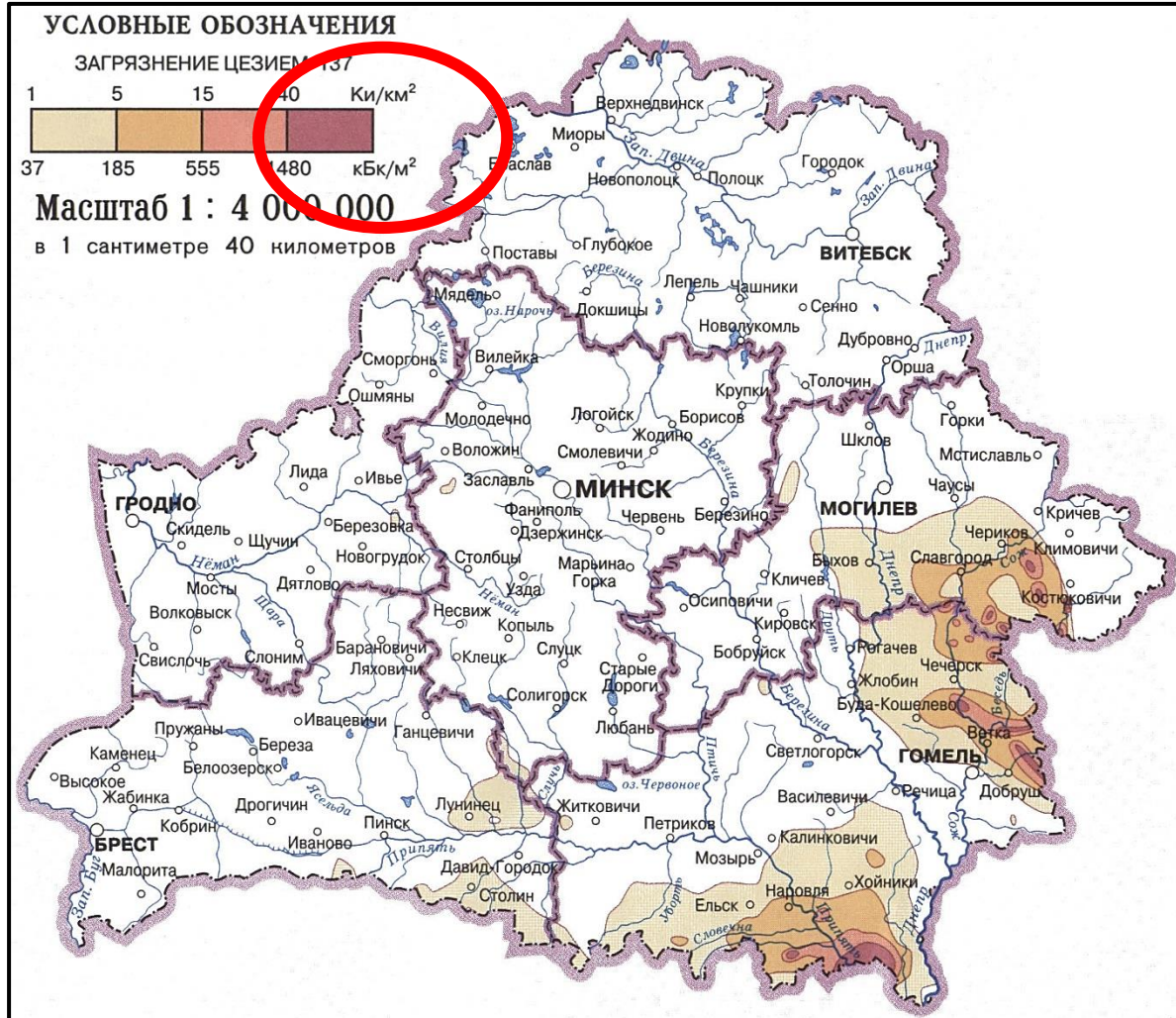
Научный руководитель:
к.м.н., доц. Аветисов А. Р.

Актуальность

Моделирование (расчет и прогноз) дозовых нагрузок
– актуальное направление радиационной медицины



1. Необходимость пересчета поверхностной активности в удельную для компьютерного моделирования дозовых нагрузок



RESRAD: pCi/g

RESRAD-ONSITE

Version 7.2
July 20, 2016

Source

Radiological Units

Activity: p Ci

Dose: m Sv

Nuclide Concentration: 100 pCi/g

Add Ac-227 21.772y

Delete Nuclide

Transport

OK

File

Change Title

Set Pathways

Modify Data

Run

View Output

2. Использование точных и удобных в применении формул, корректно отражающих реальные данные

$$D_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^l D_i = \frac{\rho_{\text{почвы}} \cdot 1,09 \cdot t \cdot \mu_{\text{км}}^{\text{гозд}} \cdot \sum_i E_i \cdot n_i}{2 \cdot \mu} \sum_{i=1}^l A_{mi} \cdot \delta(E_\gamma, Z) \cdot B_\infty(E_\gamma, (i-1) \cdot \mu d, Z) \cdot (E_2((i-1) \cdot \mu \cdot d) - E_2(i \cdot \mu \cdot d)), \quad (7)$$

$$I_{\text{дет}}(E) = \int_0^{h_s} dz_1 \int_{h_s+h-h_d/2}^{h_s+h+h_d/2} dz_2 \int_0^{r_s} \rho_1 d\rho_1 \int_0^{r_d} \rho_2 d\rho_2 \int_0^{2\pi} (2\pi - \varphi) G(z_1, z_2, \rho_1, \rho_2, \varphi) d\varphi;$$

$$G(z_1, z_2, \rho_1, \rho_2, \varphi) = \frac{\exp(-\mu_s(E)R_s - \mu_a(E)R_a)}{\pi R^2} (1 - \exp(-\mu_d(E)R_d)).$$



$$P = A \cdot D \cdot H$$

$$Q = A \cdot P / S$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\mu \rho d}$$

Цель

Обоснование использования доступных в литературе математических моделей пересчета поверхностной активности радионуклида в удельную для корректного компьютерного моделирования дозовых нагрузок и рисков.

Задачи

1. Проанализировать распределение Cs-137 в почвах по данным литературных источников;
2. Сравнить различные подходы к расчету поверхностной активности в различных по типу распределения Cs-137 почвах;
3. Найти наиболее адекватную модель пересчета удельной активности в площадную.

Материалы и методы

1. Данные национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС)



Для исследования были использованы:

- **Результаты наблюдений за 2015 год;**
- **Отчеты НСМОС**

(в т.ч. отчет “ОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ КОМПЛЕКСА РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УНИФИКАЦИИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБОРУДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ” от 28 марта 2014 г.)

2. Программный комплекс RESRAD

About RESRAD



RESRAD-ONSITE for Windows
Version: 7.2
Created: July 20, 2016



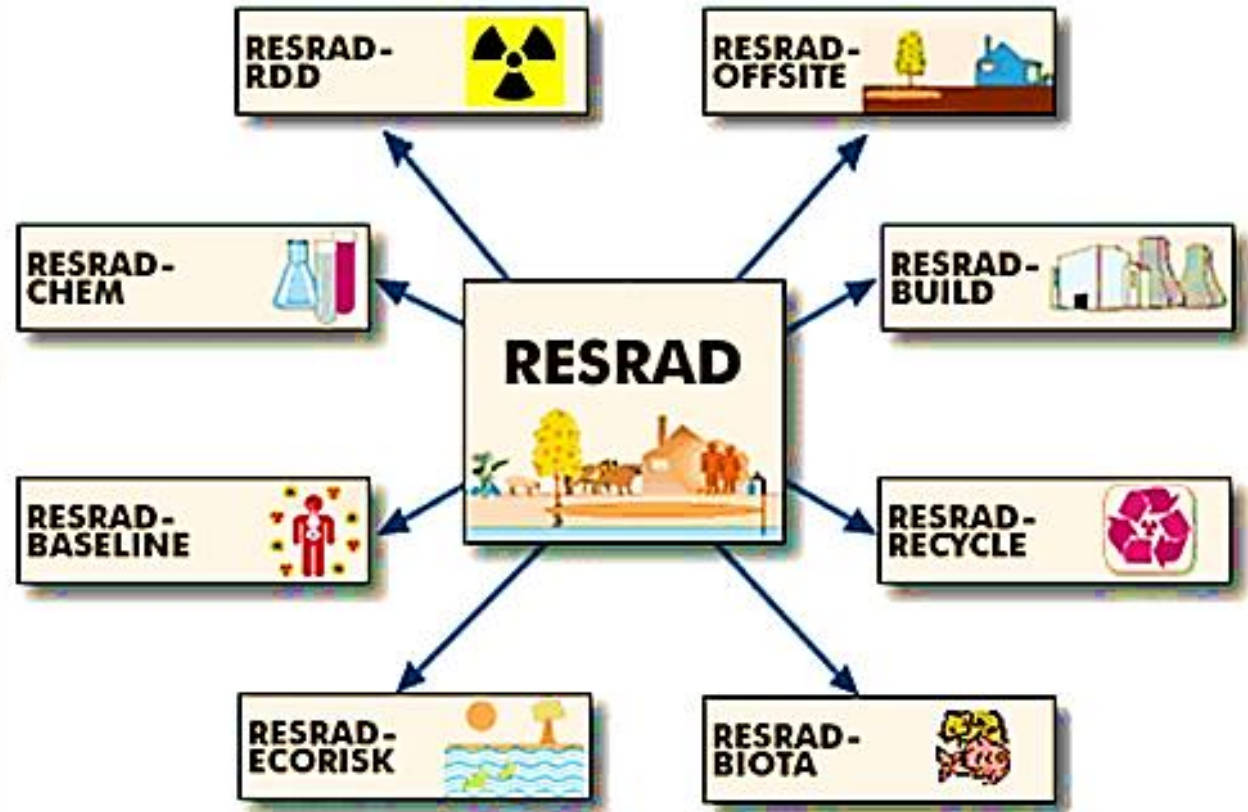
The RESRAD-ONSITE computer code was developed under the joint sponsorship of the U.S. Department of Energy and the U.S. Nuclear Regulatory Commission for site-specific dose assessment of residual radioactivity.

Developed at the Environmental Science Division of Argonne National Laboratory.

[Email: resrad@anl.gov](mailto:resrad@anl.gov)

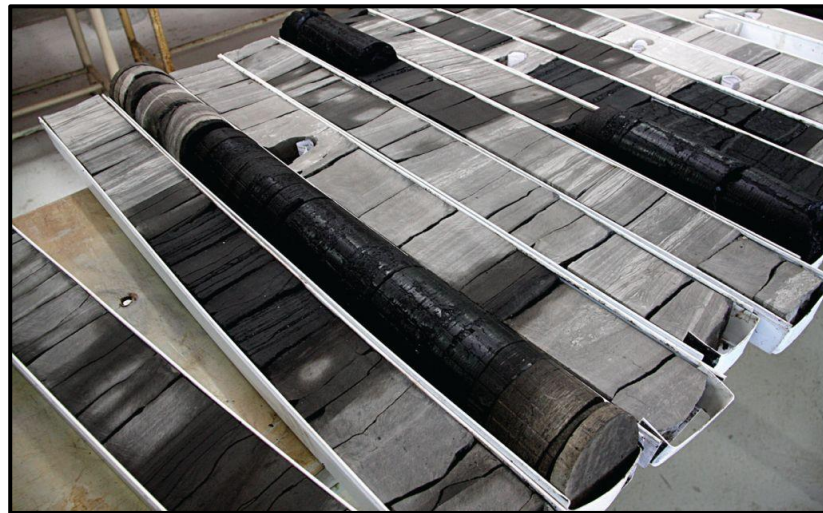
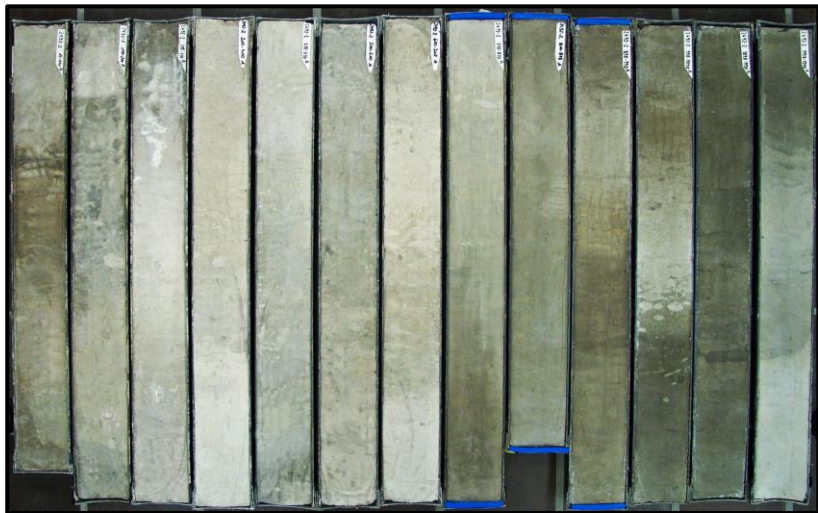
www.evs.anl.gov/resrad

Memory In Use: 65%

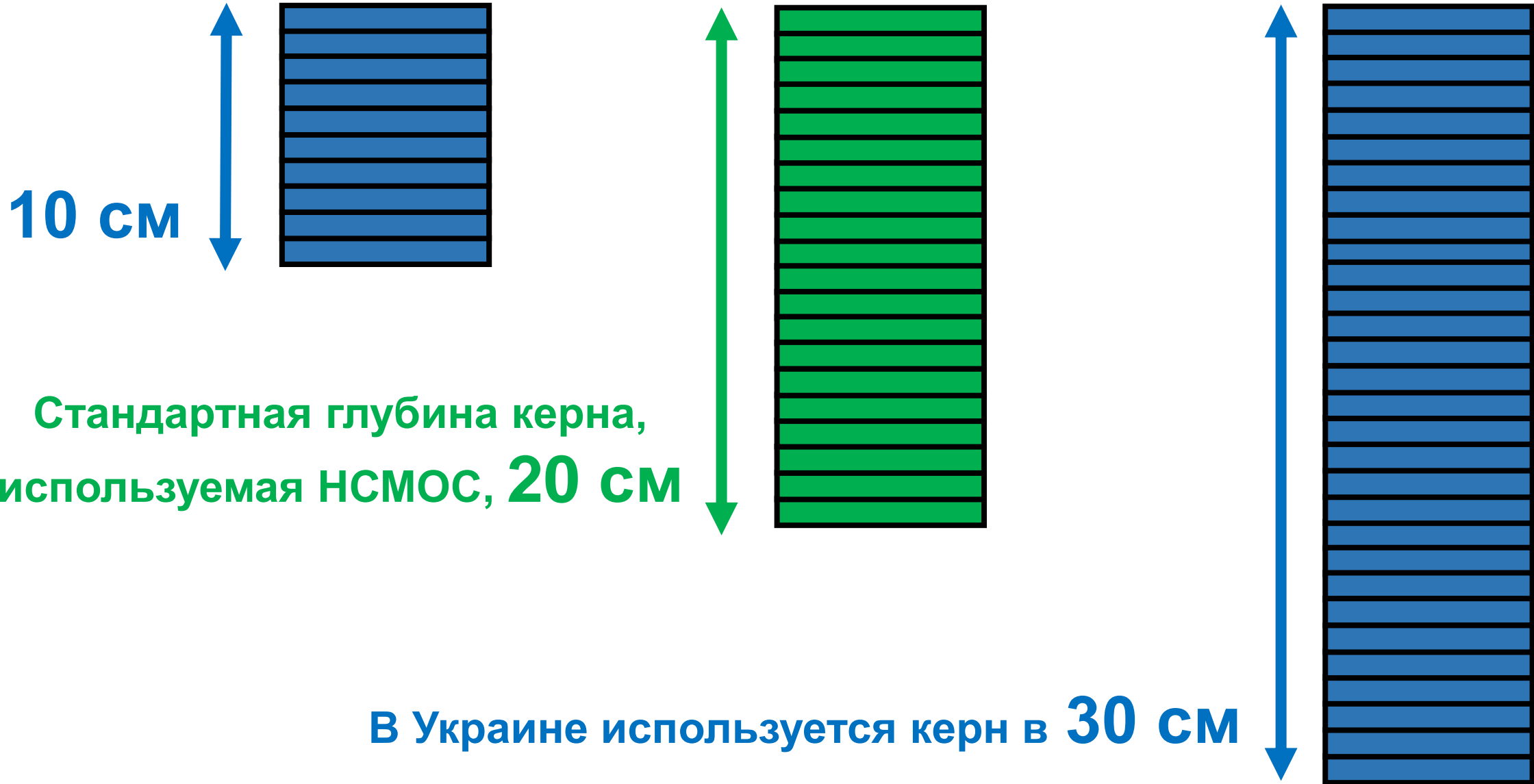


Результаты и их обсуждение

Керн (проба)



Сравнение глубины кернов



10 см

Стандартная глубина керна,
используемая НСМОС, 20 см

В Украине используется керна в 30 см

Сравнение исследуемых почв

Характеристики	Ландшафтно-геохимический полигон (ЛГХП)	
	Вылево-3	Жуковец
Месторасположение	Гомельская обл., Добрушский р-н, Демьянковский п/с	Минская обл., Березинский р-н, Березинский с/с
Ландшафт	Рельеф ровный пониженный	Платообразное повышение
Растительность	Злаково-осоковое разнотравье	Сосняк с примесью мелколиственных пород
Почва	Аллювиальная дерново- глееватая с иллювиально-гумусовым горизонтом	Дерново-подзолистая, песчаная на рыхлых песках

Исследуемые почвы

Вылево-3



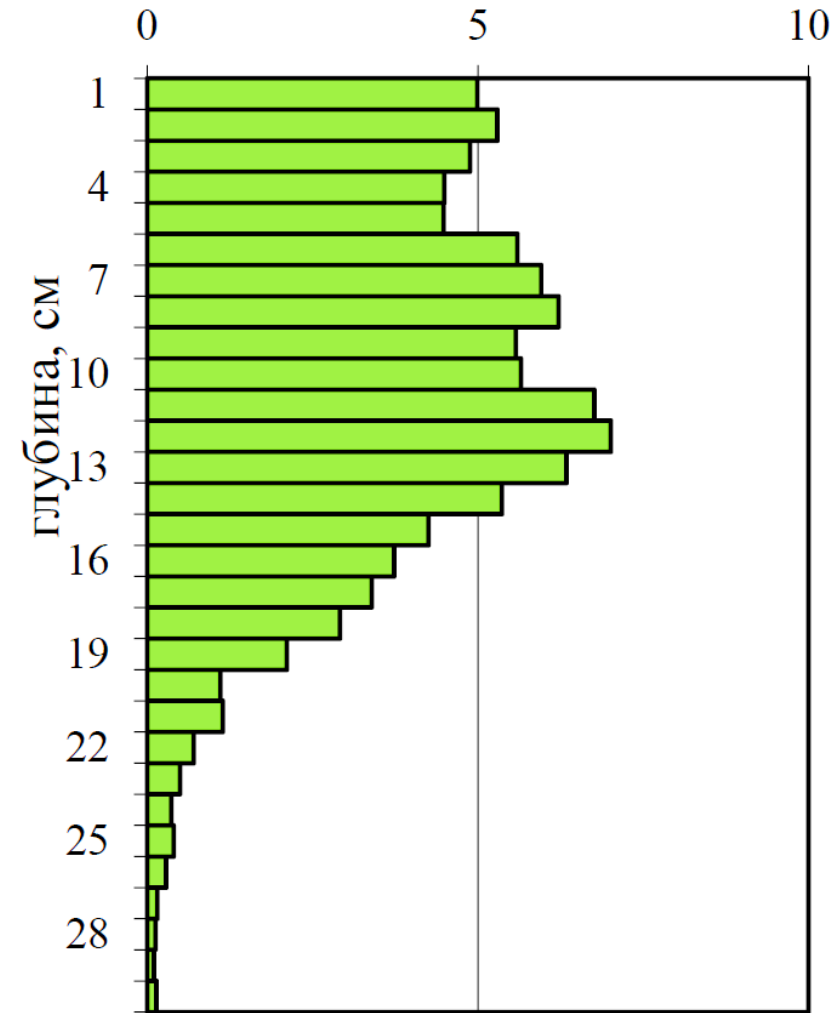
Аллювиальная дерново-глееватая с иллювиально-гумусовым горизонтом

Жуковец



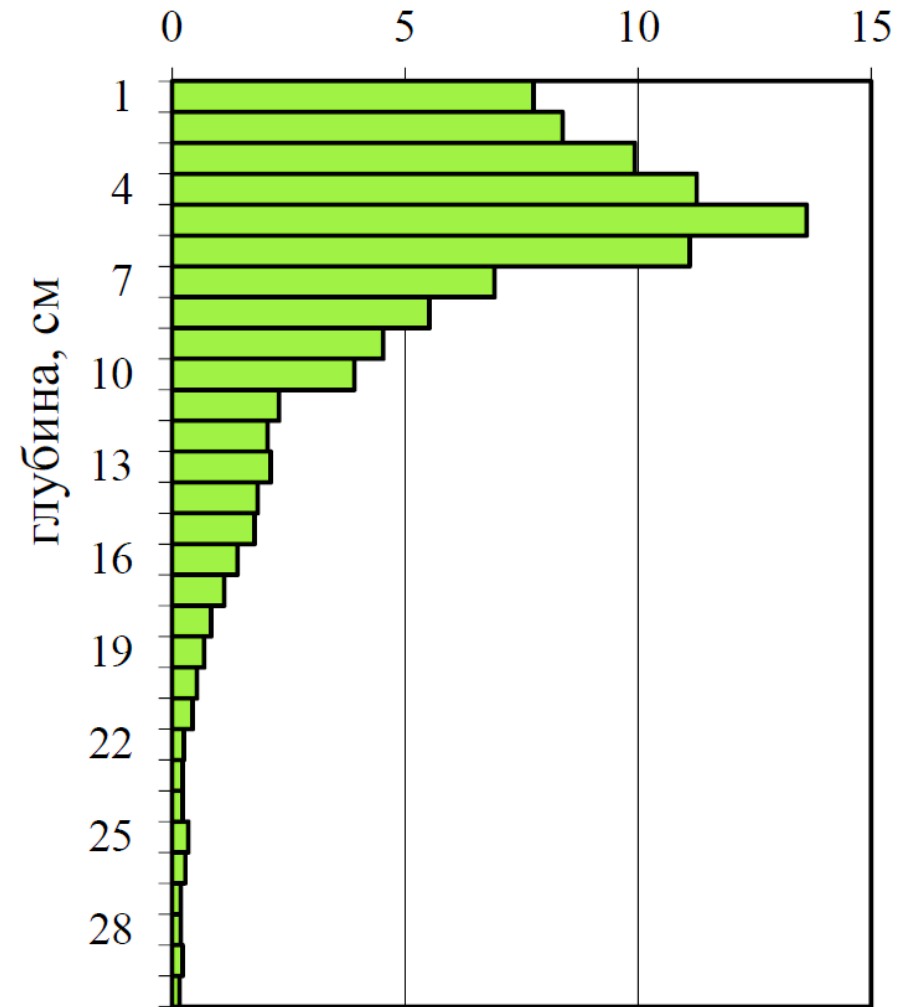
Дерново-подзолистая, песчаная на рыхлых песках

Фактическое распределение Cs-137 (% от запаса в 30 см слое)



ЛГХП Вылево-3

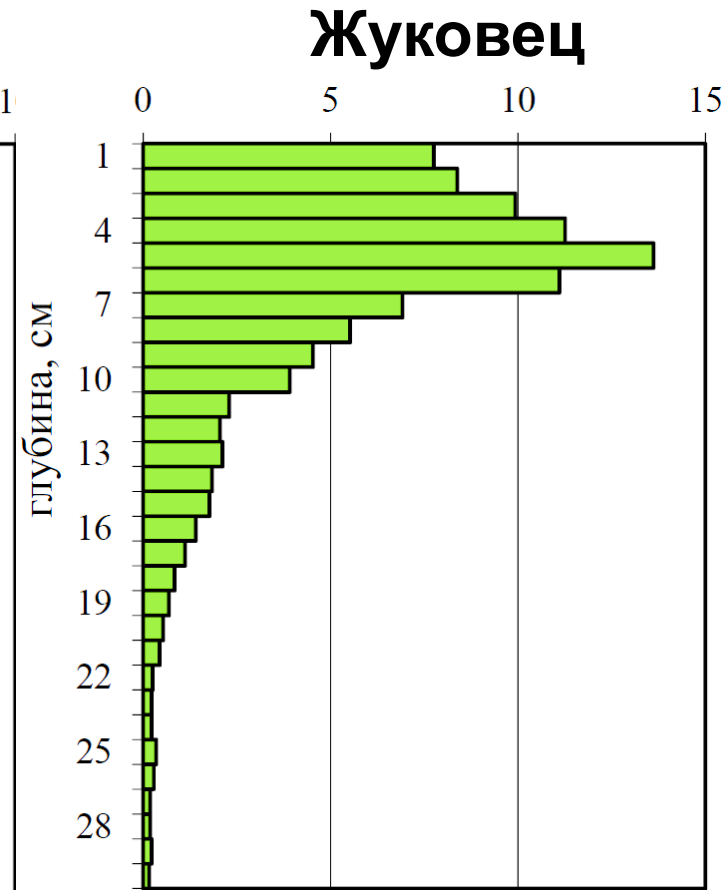
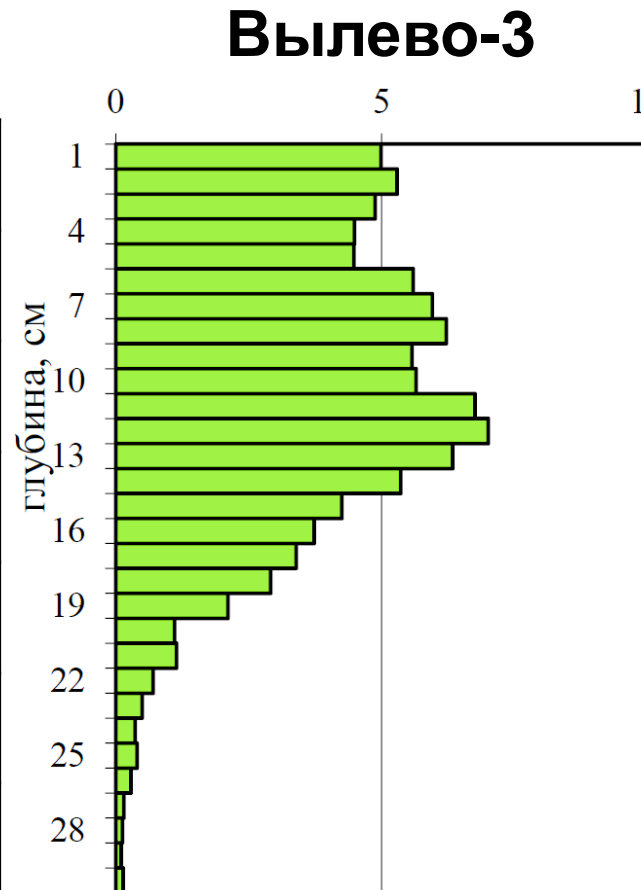
Фактическое распределение Cs-137 (% от запаса в 30 см слое)



ЛГХП Жуковец

Сравнение распределения Сs в кернах

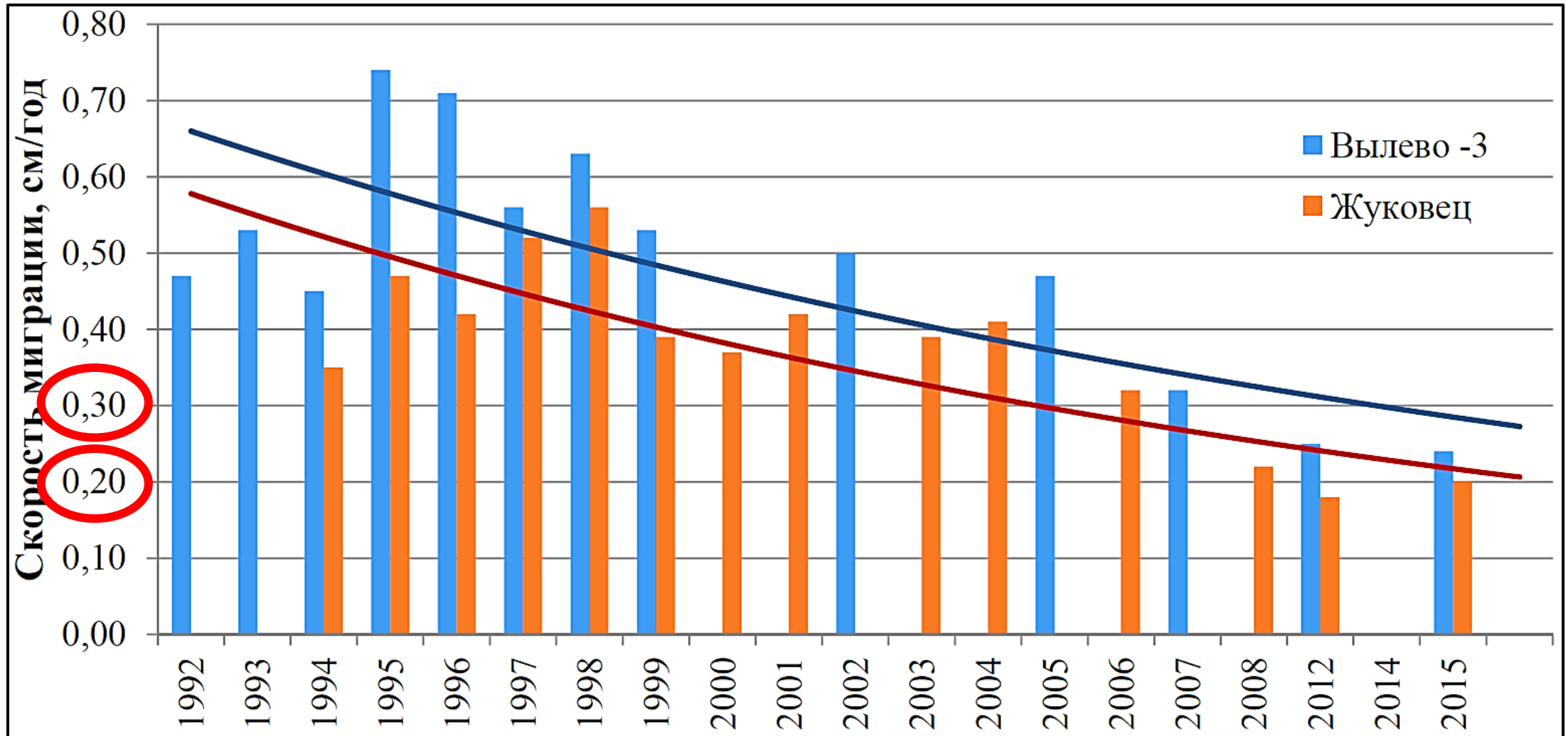
(см)	Вылево-3 (%)	Жуковец (%)
5	24,20	51,10
10	53,00	83,10
15	83,30	93,20
20	96,60	98,00
25	99,35	99,30
30	100,00	100,00



Вылево-3: аллювиальная дерново-глееватая с иллювиально-гумусовым горизонтом;
Жуковец: дерново-подзолистая, песчаная на рыхлых песках;

Миграция Cs

Динамика линейной скорости миграции цезия-137 по вертикальному профилю исследованных почв за период 1992-2015 г.



Формула В. М. Гавшина (1994)

$$P = A \cdot D \cdot H$$

P – площадная активность Бк/км²;

A – удельная активность почвы, Бк/кг;

D – плотность почвы, г/см³;

H – глубина керна, см;

Массовый коэффициент ослабления μ

Диапазон принимаемых значений: 0,07 – 0,09

Зависит от:

- Плотность почвы (ρ);
- Глубины залегания источника (d);
- Активности источника на заданной глубине (A);

Формула ослабления активности в почве

$$A = A_0 \cdot e^{-\mu \rho d}$$

A – ослабленная активность слоя, Бк/кг;

A_0 – начальная активность слоя, Бк/кг;

μ – массовый коэффициент ослабления;

ρ – объемный вес пробы, г/см³;

d – глубина залегания слоя в пробе, см;

Дополнительные формулы

$$m = 2,4 \cdot 10^{-24} \cdot A \cdot T \cdot M$$

$$A = 4,17 \cdot 10^{23} \cdot m / (T \cdot M)$$

A – удельная (объемная) активность керна, Бк/кг;

m – масса радионуклида, г;

T – период полураспада радионуклида, года;

M – молярная масса радионуклида, г/моль;

Расчеты с использованием формулы ослабления для Вылево-3 и Жуковец

1	H (см)	m*%	m(Cs)i (г)	A(Cs) (Бк)	A(Cs)red. (Бк)
2	1	5,00	0,0005717832	1 829 215 874	1 629 368 296
3	2	5,20	0,0005946545	1 902 384 509	1 509 408 880
4	3	4,80	0,0005489119	1 756 047 239	1 241 078 049
5	4	4,60	0,0005260405	1 682 878 604	1 059 424 443
6	5	4,60	0,0005260405	1 682 878 604	943 678 995
7	6	5,50	0,0006289615	2 012 137 462	1 005 040 230
8	7	6,00	0,0006861398	2 195 059 049	976 621 559
9	8	6,20	0,0007090112	2 268 227 684	898 920 006
10	9	5,50	0,0006289615	2 012 137 462	710 307 411
11	10	5,60	0,0006403972	2 048 721 779	644 207 807
12	11	6,80	0,0007776252	2 487 733 589	696 788 812
13	12	7,00	0,0008004965	2 560 902 224	638 917 224
14	13	6,50	0,0007433182	2 377 980 636	528 462 546
15	14	5,50	0,0006289615	2 012 137 462	398 306 914
16	15	4,50	0,0005146049	1 646 294 287	290 283 245
17	16	3,80	0,0004345552	1 390 204 064	218 347 062
18	17	3,40	0,0003888126	1 243 866 794	174 019 122
19	18	2,80	0,0003201986	1 024 360 890	127 652 812
20	19	2,20	0,0002515846	804 854 985	89 340 697
21	20	1,10	0,0001257923	402 427 492	39 789 973
22	21	1,20	0,0001372280	439 011 810	38 664 865
23	22	0,60	0,0000686140	219 505 905	17 220 304
24	23	0,40	0,0000457427	146 337 270	10 225 954
25	24	0,25	0,0000285892	91 460 794	5 692 960
26	25	0,30	0,0000343070	109 752 952	6 085 184
27	26	0,20	0,0000228713	73 168 635	3 613 572
28	27	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 609 389
29	28	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 433 558
30	29	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 276 938
31	30	0,15	0,0000171535	54 876 476	1 706 142

A = 13 907 492 951 Бк

Этапы расчетов:

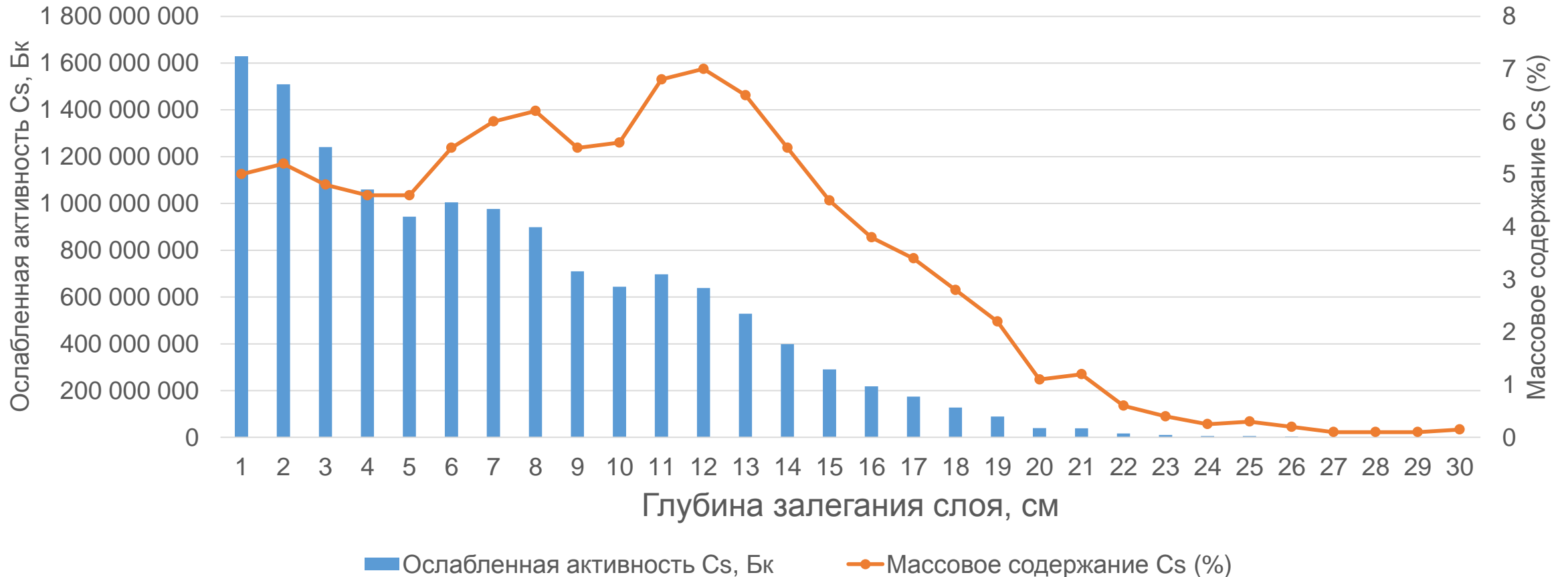
1. Расчет массы Cs в керне;
2. Расчет активности каждого слоя;
3. Расчет ослабленной активности каждого слоя, с учетом массового коэффициента ослабления;
4. Сложение ослабленных активностей в керне.

1	H (см)	m*%	m(Cs)i (г)	A(Cs) (Бк)	A(Cs)red. (Бк)
2	1	7,80	0,0008919818	2 853 576 764	2 541 814 541
3	2	8,40	0,0009605958	3 073 082 669	2 438 275 883
4	3	10,00	0,0011435664	3 658 431 748	2 585 579 269
5	4	11,30	0,0012922300	4 134 027 876	2 602 499 174
6	5	13,60	0,0015552503	4 975 467 178	2 790 007 464
7	6	11,00	0,0012579230	4 024 274 923	2 010 080 460
8	7	6,90	0,0007890608	2 524 317 906	1 123 114 793
9	8	5,50	0,0006289615	2 012 137 462	797 429 038
10	9	4,70	0,0005374762	1 719 462 922	606 989 969
11	10	3,90	0,0004459909	1 426 788 382	448 644 723
12	11	2,3	0,0002630203	841 439 302	235 678 569
13	12	2,1	0,0002401489	768 270 667	191 675 167
14	13	2,2	0,0002515846	804 854 985	178 864 246
15	14	1,80	0,0002058420	658 517 715	130 354 990
16	15	1,70	0,0001944063	621 933 397	109 662 559
17	16	1,50	0,0001715350	548 764 762	86 189 630
18	17	1,20	0,0001372280	439 011 810	61 418 514
19	18	0,80	0,0000914853	292 674 540	36 472 232
20	19	0,70	0,0000800496	256 090 222	28 426 585
21	20	0,60	0,0000686140	219 505 905	21 703 621
22	21	0,40	0,0000457427	146 337 270	12 888 288
23	22	0,20	0,0000228713	73 168 635	5 740 101
24	23	0,20	0,0000228713	73 168 635	5 112 977
25	24	0,20	0,0000228713	73 168 635	4 554 368
26	25	0,30	0,0000343070	109 752 952	6 085 184
27	26	0,20	0,0000228713	73 168 635	3 613 572
28	27	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 609 389
29	28	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 433 558
30	29	0,20	0,0000228713	73 168 635	2 553 875
31	30	0,10	0,0000114357	36 584 317	1 137 428

A = 19 069 610 171 Бк

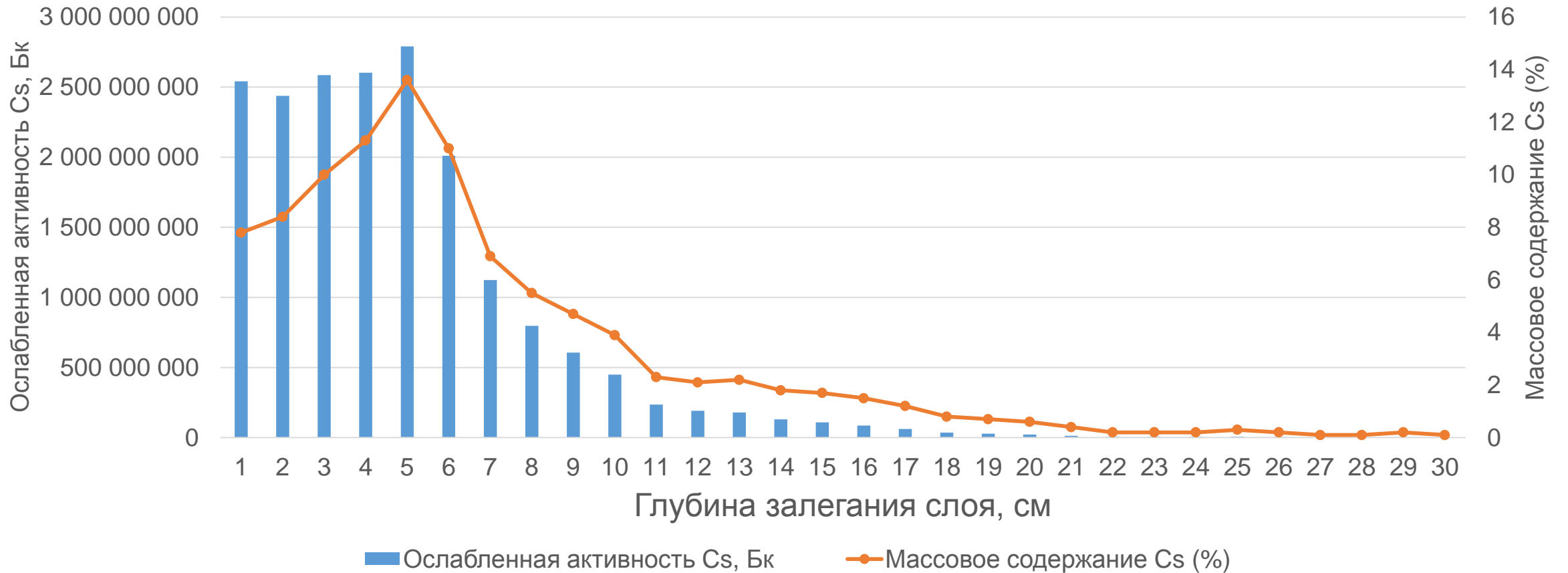
Распределение активности по слоям с учетом ослабления (Вылево-3)

Распределение активности по слоям с учетом ослабления



Распределение активности по слоям с учетом ослабления (Жуковец)

Распределение активности по слоям с учетом ослабления



Обоснование использования формулы Гавшина при керне 20 см

Вылево - 3

$A_{об}$ (Бк)	5,30	4,83	3,33
D (г/см ³)	1,35	1,35	1,35
H (см)	10	20	30
$P_{пл}$ (Бк/км ²)	0,7	1,3	1,35

Жуковец

$A_{об}$ (Бк)	8,28	4,90	3,33
D (г/см ³)	1,35	1,35	1,35
H (см)	10	20	30
$P_{пл}$ (Бк/км ²)	1,12	1,32	1,35

Отчет НСМОС

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды
Республики Беларусь
Государственное учреждение
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И
МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»
(ГУ «РЦРКМ»)

УДК 502.55:621.039.7:34.62(076)
Инв. №

СОГЛАСОВАНО
Начальник государственного
учреждения «Республиканский
центр управления и реагирования
на чрезвычайные ситуации»

А.М.Юржиц
« » _____ 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ
Начальник государственного
учреждения «Республиканский
центр радиационного контроля и
мониторинга окружающей среды»

А.П.Станкевич
«16» декабря 2014 г.

ОТЧЕТ

**ОСУЩЕСТВИТЬ КОМПЛЕКС РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ
ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УНИФИКАЦИИ ПРОГРАММНО-
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБОРУДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО
РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**

Программа совместной деятельности по преодолению последствий
чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства
на период до 2016 года.

Договор № 15/14 от 28 марта 2014 г.
(заключительный)

Ответственный исполнитель

О.М.Жукова

Минск – 2014

- Для проведения исследований почв используется стандартный керн в 20 см глубиной;
- Содержание Cs почве сильно разнится даже на достаточно однородных по типу почвы ЛГХП;
- При расчетах основную роль играет Закон больших чисел (большое число измерений);

Формула для расчетов в НСМОС

$$Q=A \cdot P/S$$

Q – площадная активность Бк/км²;

A – удельная активность радионуклида в пробе;

P – вес пробы после обработки;

S – площадь поперечного сечения пробоотборника;

Рекомендации к использованию формулы НСМОС

1. В формуле не учитывается плотность почвы в пробе. Расчет ведется по параметрам, определенным опытным путем для каждой измеренной пробы (глубина керна 20 см – стандарт, измеренные масса и активность керна);
2. Используется вне зависимости от типа почвы;
3. Является общепринятым стандартом определения поверхностной активности почв в Республики Беларусь.

Сравнение формул

$$Q = A \cdot P / S$$

$$P = A \cdot D \cdot H$$

Формула Гавшина является полным отражением формулы, используемой в НСМОС, т.е. используются схожие физические величины.

Соразмерность и сопоставимость величин

$$Q = [\cancel{\text{Bq/kg}}] \cdot [\cancel{\text{kg}}] / [\text{m}^2] = [\text{Bq/m}^2]$$

$$P = [\cancel{\text{Bq/kg}}] \cdot [\cancel{\text{kg/m}^3}] \cdot [\cancel{\text{m}}] = [\text{Bq/m}^2]$$

Расчетные и реальные измерения совпадают при использовании следующих параметров:

- Плотность почвы – 1,35 г/см³ (совпадает с данными РУП НПЦ "Института почвоведения и агрохимии");
- Глубина 20 см (совпадает с керном, используемым в НСМОС).

Примеры расчетов с помощью RESRAD

Населенный пункт	Население (чел.)	Измерения	Расчет	RESRAD	Измерения	Расчет	ОШИБКА (2014/1984)
		НСМОС-1984 (Ci/km ²)	ГАВШИН-1984 (pCi)	1984→2014 (pCi)	НСМОС-2014 (Ci/km ²)	ГАВШИН-2014 (pCi)	
Бережное	2080	3,100	11,470	5,96023	1,58	5,846	0,9808346322
Городная	1190	3,630	13,431	6,97924	1,86	6,882	0,9860672509
Коротичи	1008	2,550	9,435	4,90277	1,35	4,995	1,0188118145
Лесной	48	4,990	18,463	9,59405	2,55	9,435	0,9834220168
Малые орлы	544	3,030	11,211	5,82565	1,59	5,883	1,0098443950
Ольманы	1216	11,000	40,700	21,14920	5,61	20,757	0,9814555633
Первомайск	121	2,230	8,251	4,28752	1,15	4,255	0,9924151957
Речица	6300	5,910	21,867	11,36290	3,19	11,803	1,0387313098

Выводы

1. Оптимальная глубина керна составляет 20 см, что и принято за стандарт в НСМОС и в расчетах для использования в программе RESRAD;
2. Для пересчета данных НСМОС с помощью формулы Гавшина необходимо использовать плотность почвы, равную $1,35 \text{ г/см}^3$ (среднее значение для пахотных земель по данным РУП НПЦ "Институт почвоведения и агрохимии");
3. Т.к. формулы НСМОС и Гавшина по физическому смыслу не отличаются, то и погрешности расчетов будут минимальны при использовании рекомендуемых параметров;
4. Принимая во внимание все вышеизложенное, формулу Гавшина можно рекомендовать к использованию для компьютерного моделирования радиоэкологической ситуации.

Спасибо за внимание!