

**Кононенко Л.В., Бондаренко М.Г., Маничев В.И., Власенко В.И.**

*Институт геохимии окружающей среды НАН Украины*

## **ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ БУРШТЫНСКОЙ ТЭС**

*Концентрации естественных радионуклидов (ЕРН) определены в почвах зоны влияния Буриштынской ТЭС и в образцах золы ТЭС. Установлено, что загрязнение почв ЕРН от выбросов Буриштынской ТЭС незначительно по сравнению с их содержанием в почве, что не позволяет установить усредненный тренд распределения техногенной составляющей ЕРН по площади. Отмечены отдельные точки в зоне влияния ТЭС, где наблюдается обогащение почв изотопами радия и  $^{40}\text{K}$ .*

### **Введение**

Известно, что в состав каменного угля в качестве элементов-примесей входят естественные радионуклиды (ЕРН), которые при сжигании угля поступают в атмосферу в составе дымовых уносов. В их числе уран, торий и продукты их распада, а также  $^{40}\text{K}$ .

При зольности угля 10% за год ТЭС мощностью 1 ГВт с коэффициентом очистки выбросов 0,975 выбрасывают в атмосферу, ГБк:  $^{40}\text{K}$  – 4,0,  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  – по 1,5,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  – по 5,0,  $^{232}\text{Th}$  – 1,5. Суточный выброс золы в атмосферу составляет 36 т, и при высоте трубы 150–200 м радиус загрязненной территории равен примерно 50 км [1].

По оценкам [2], тепловая электростанция мощностью 1 ГВт, сжигая 12 млн.т угля, выбрасывает в атмосферу около 1,5 ТБк (40 Ки) долгоживущих радионуклидов и создает мощность дозы в районе станции 45-80мкР/час.

Выбрасываемые в атмосферу частицы золы-уноса, содержащие ЕРН, оседают на поверхность почвы и накапливаются в почвенном покрове. В почвах, в свою очередь, содержится аналогичный набор ЕРН, унаследованный от материнских горных пород. В процессе почвообразования они привносились от разрушавшихся пород в виде дисперсного материала, накапливались в тонких фракциях почвы в результате поглощения (сорбции) их глинистым и коллоидным веществом.

### **Естественные радионуклиды в почвах**

$^{40}\text{K}$  является одним из наиболее распространенных ЕРН в почвах, водах, донных отложениях и в биологических объектах. В почве калий содержится преимущественно в составе почвообразующих минералов в неорганической фракции и в почвенном растворе в катионной форме. В биомассу на земной поверхности поступает преимущественно в растворимой форме через корневую систему и распределяется в живых организмах равномерно.

Одним из основных источников естественного радиационного фона является  $^{226}\text{Ra}$  – долгоживущий продукт распада  $^{238}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 1602$  года), по химическим свойствам подобный барию. В почвах кислого ряда, характерных для гумидной климатической зоны, концентрация  $^{226}\text{Ra}$ , как правило, превышает равновесную концентрацию с  $^{238}\text{U}$  [3]. Содержание радия в них коррелирует с содержанием глинистых минералов, гидроксидов Fe, Al, Mn, органического вещества, что указывает на сорбционный характер связи его с почвенным комплексом. В черноземах и почвах аридной зоны радий накапливается на карбонатных и сульфатных испарительных барьерах, соосаждаясь с карбонатами и сульфатами других щелочно-земельных металлов.

Продуктом распада  $^{226}\text{Ra}$  является газообразный  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,825$  дн.). Основной путь поступления радона в организм – ингаляционный, а основное радиационное воздействие связано с его продуктами распада. Среди продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  – короткоживущие  $\gamma$ -

излучающие нуклиды  $^{214}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 27$  мин) и  $^{214}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 19,7$  мин) и относительно долгоживущий  $\beta$ -излучающий  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 22$  года).

Родоначальник ториевого ряда –  $^{232}\text{Th}$  ( $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$  лет). Среди продуктов его распада –  $^{228}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 5,8$  лет),  $^{228}\text{Th}$  ( $T_{1/2} = 1,9$  года);  $\gamma$ -излучающий  $^{228}\text{Ac}$  ( $T_{1/2} = 6,1$  ч) и  $^{224}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 3,6$  сут). Продуктом распада  $^{224}\text{Ra}$  является короткоживущий изотоп радона  $^{220}\text{Rn}$  (торон,  $T_{1/2} = 54,5$  с), вследствие распада которого последовательно образуются несколько короткоживущих изотопов, среди которых  $\gamma$ -излучатели  $^{212}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 10,64$  ч) и  $^{212}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 1$  ч).

Все члены радиоактивных рядов связаны друг с другом последовательными необратимыми взаимными превращениями. В закрытой системе, где не происходит поступления или выноса отдельных членов ряда, со временем устанавливается радиоактивное равновесие:

$$N_1 \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2 = \dots N_i \cdot \lambda_i, \quad (1)$$

где  $N$  – число атомов изотопа,  $\lambda$  – постоянная его радиоактивного распада.

Нарушение радиоактивного равновесия возникает в результате перемещения одних членов ряда относительно других из системы, либо внутрь нее. Обычно подобные нарушения наблюдаются на границе раздела двух фаз.

Геохимические процессы, происходящие как в период почвообразования, так и при функционировании почвы, приводят к нарушению радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и материнским изотопом  $^{238}\text{U}$ . Изотопы газообразного радона, являющиеся членами U- и Th-рядов, могут из почвы поступать в атмосферу. Продукты распада радона приобретают электрический заряд и, соответственно, способность присоединяться в воздухе к аэрозольным частицам, перемещаться и осаждаться с ними. Газообразный радон перемещается в атмосферном воздухе на большие расстояния, а продукты его распада практически полностью и довольно быстро выпадают на земную поверхность с пылевыми частицами, аэрозолями и атмосферными осадками. Это приводит к нарушению равновесия между радоном и продуктами его распада.

Таким образом, почва является природным образованием, для которого характерно нарушение радиоактивного равновесия ЕРН, особенно в ряду  $^{238}\text{U}$ . Отмечается [2], что в ряду  $^{232}\text{Th}$  в большинстве случаев в природных условиях имеет место радиоактивное равновесие, что, очевидно, можно объяснить коротким временем жизни продуктов распада (в особенности это важно для газообразного  $^{220}\text{Rn}$ ) по сравнению с материнским изотопом.

### Объект исследования

Бурштынская ТЭС является одним из самых мощных энергогенерирующих предприятий Украины (2300 МВт) и наиболее масштабным энергетическим загрязнителем окружающей среды на западе Украины. Продолжительность ее эксплуатации составляет более 40 лет, при этом ежегодный объем выбросов в атмосферу составляет десятки тысяч тонн, из них более 30 тыс. тонн приходится на твердые частицы - золу.

В физико-географическом отношении зона влияния Бурштынской ТЭС относится к Приднестровской Подолии, в пределах которой выделяют Галицкое понижение и Бурштынское Ополье. Среднегодовое количество осадков составляет около 700 мм, преобладающее направление ветра – северо-западное и юго-восточное.

Бурштынское Ополье характеризуется наличием древнетеррасового холмистого, местами эрозионного, рельефов, а Галицкое понижение – террасным аккумулятивным, равнинным типом рельефа. Четвертичные отложения этих районов представлены элювиально-делювиальными и аллювиальными отложениями.

Древние террасы р.Днестр плейстоценового возраста имеют различные уровни высот. Первая терраса с отметкой 6—9 м, сложена галечниковыми отложениями, которые выше по стратиграфическому разрезу перекрыты песками. На песках залегают различной мощности

толщи лессовидных суглинков с желтоватым оттенком. Сходной геологической ситуацией характеризуется и вторая надпойменная терраса, относительная высота которой достигает 20м. [1]. В литолого-стратиграфическом разрезе маломощные толщи галечников перекрываются лессовидными суглинками. На этой террасе располагается Бурштынская ТЭС.

На равнинных участках территории развиты преимущественно черноземные почвы. В балках под грабово-дубовыми лесами наблюдаются оподзоленные черноземы и темно- или светло-серые подзолистые почвы. Значительное распространение имеют также луговые и лугово-болотные почвы.

Отбор почв был проведен на отдельных участках, расположенных на различном удалении от Бурштынской ТЭС с учетом особенностей рельефа, ландшафтных признаков, преобладающего направления ветра (рис. 1). Были отобраны также образцы шлака и золы ТЭС. Пробы почв отбирались по принятому в полевых эколого-геохимических исследованиях методом «конверта» с шагом стороны 1 м и специальным пробоотборником, объем которого составляет  $500 \text{ см}^3$ , при глубине отбора 5 см.



Рис. 1. Карта отбора проб почв в зоне влияния Бурштынской ТЭС.

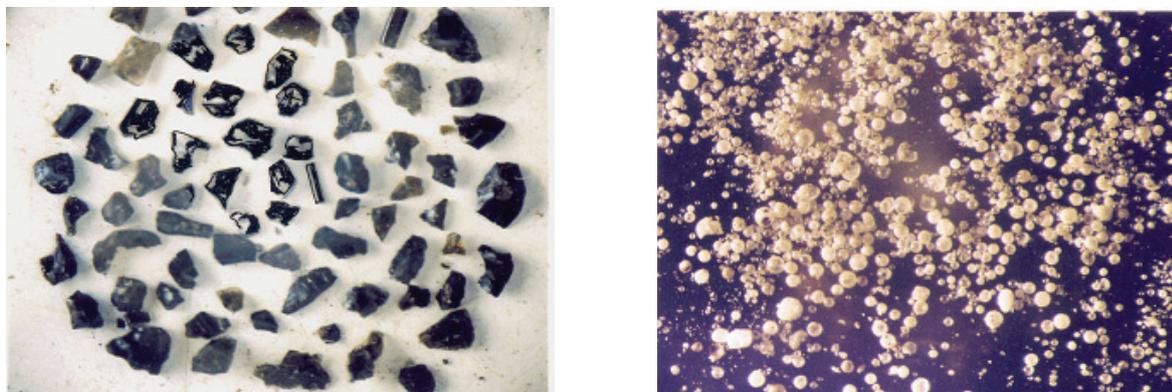
### Результаты исследований и их обсуждение

Вещественный состав изученных почв свидетельствует о преобладании в них двух основных компонентов – почвенных агрегатов и зерен минералов. Меньший объем почв занимают растительные остатки (стебли и корни растений различной степени разложения) и примесь материала техногенного генезиса – фрагментов твердых отходов.

Твердыми отходами основного производства Бурштынской ТЭС является топливный шлак и зола. Шлак образуется в процессе сгорания топлива в камерах сжигания котлов, а затем транспортируется на шлакоотвалы. Зола отделяется от дымовых газов котлов в

электрофильтрах и выводится в мокром и сухом виде. В золоотвалах накапливается зольная пульпа.

В почвенном покрове частицы золы представлены мелкими образованиями сферической формы. Фрагменты угольных шлаков имеют различную форму и размер (рис.2) и встречаются преимущественно в почвах, отобранных в западном направлении от Бурштынской ТЭС, в зоне влияния шлаковых отвалов.



А

Б

**Рис. 2.** Материал техногенного генезиса, выделенный из почвы (А – обломки шлака в составе почв. Ув.  $\times 10$ ; Б – сферической формы зольные образования. Ув.  $\times 10$ ).

Химический состав зольного вещества (в %):

SiO<sub>2</sub>-51.59, TiO<sub>2</sub>-1.43, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 20.84, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8.28, FeO-6.19, MnO-0.27, Mg-1.96, CaO-2.48, Na<sub>2</sub>O-0.70, K<sub>2</sub>O-2.40, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-0.16, H<sub>2</sub>O-0.13, п.п.п.- 3.14; Z=99,57.

Зольное вещество может поступать на поверхность почвы двумя путями: с дымом электростанции и с золоохранилищ. Зольное вещество распыляется на десятки километров и обнаружено в почвах заповедных зон, расположенных на значительном удалении от электростанции (например, заповедник «Княжий Галич»). Именно этот материал является основным источником поступления в почву тяжелых металлов, в том числе ЕРН.

Отобранные образцы почв были проанализированы нами на содержание естественных радионуклидов гамма-спектрометрическим методом с помощью анализатора АИ-1024-95 с полупроводниковым Ge(Li) - детектором. Измерения проводились в геометрии Маринелли. Результаты определения гамма-активности радионуклидов представлены в таблице 1, где образцы почв сгруппированы в зависимости от расстояния их местоположения от ТЭС. Гамма-спектрометрическому анализу были подвергнуты также образцы золы и шлака (табл.2).

По данным гамма-спектрометрического анализа в исследованных почвах обнаружены радионуклиды ряда <sup>238</sup>U – <sup>234</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi, ряда <sup>232</sup>Th – <sup>228</sup>Ac, <sup>212</sup>Pb, <sup>212</sup>Bi, и ряда <sup>235</sup>U – <sup>223</sup>Ra. Во всех пробах также присутствует радионуклид <sup>40</sup>K, который накапливается в золе от сгорания угля, а также является наиболее распространенным среди естественных радионуклидов почвы.

Изотоп ториевого ряда <sup>228</sup>Ac (T<sub>1/2</sub> = 6,1 ч) является короткоживущим продуктом распада более долгоживущего <sup>228</sup>Ra (T<sub>1/2</sub> = 5,7 года). Для систем, состоящих из двух последовательно распадающихся изотопов, из которых материнский изотоп гораздо более долгоживущий, чем дочерний, т.е. T<sub>1</sub> >> T<sub>2</sub>, соотношение атомов дочернего и материнского изотопов определяется соотношением:

$$N_2 = N_1 \frac{T_2}{T_1 - T_2} \left( e^{-\frac{0,693}{T_1}t} - e^{-\frac{0,693}{T_2}t} \right) \quad (2)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – число атомов материнского и дочернего изотопов, соответственно;  $T_1$  и  $T_2$  – периоды полураспада материнского и дочернего изотопов, соответственно.

По истечении некоторого времени устанавливается *вековое* равновесие между количествами материнского и дочернего изотопов:

$$\frac{N_1}{T_1} = \frac{N_2}{T_2} \quad , \quad (3)$$

что представляет собой математическое выражение, тождественное уравнению (1).

**Таблица 1.** Активность естественных радионуклидов в почвах зоны влияния Бурштынской ТЭС, Бк/кг

Образец	Тип почвы	Ряд $^{238}\text{U}$				Ряд $^{232}\text{Th}$		Ряд $^{235}\text{U}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$
		$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$	$^{228}\text{Ac}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{223}\text{Ra}$		
				До 1 км						
Б-1	Ч	68.8	72.3	142	208	74.8	64.9	132	501	1.05
Б-15	Ч		118	65.8	96.1		52		568	
Б-16	Ч		169	153	176		64.6		508	
				От 2 до 4 км						
Б-17	Л	76.7	73.4	88.5	78.7	52.46	32.2	116	434	0.96
Б-2	ДОП	81.8	154	133	163	49.6	36.6	186	430	1.88
Б-5	ДОП		84.3	101	126	36.1	45.3	98.4	505	
Б-6	Л	68.2	133	99.7	70.3	51.0	28.6	195	584	1.95
Б-7	ДОП	64.0	92.0	63.6	58.1	47.6	29.4	125	420	1.44
Б-8	ТС	18.3	130.0	145	162	81.5	65.2	301	804	7.10
				От 4 до 6 км						
Б-3	Л	75.1	98.0	90.7	118	66.4	36.6	258	458	1.30
Б-9	Ч		88.7	140	131	73.2	65.6	227	648	
Б-19	ДОП	36.1	96.8	140	180	60.1	43.9	207	471	2.68
Б-20	ДОП	68.1		108	123	50.4	35	236	531	
				От 6 до 7 км						
Б-4	Л		92.9	118	163	57.2	31.9	261	594	
Б-18	Л	63.8	157	165	177	56.8	62.2		910	2.46
Б-21	Л	75.7	167	145	135		50.9	168	496	2.21
Б-10	Ч		93.5	149	117	73.2	55.5	290	579	
Б-22	Ч	26.2	67.7	116	158		48.5		552	2.58
Б-23	Ч	30.3	115	114	115	50.5		105	619	3.80
Б-11	Ч	82.8		69.3	126.0	55.5		223	898	
				10 - 14 км						
Б-24	ДП	27.1	79.6	95.6	132	33.7	37.6	173	596	2.94
Б-25	ДП	25	114	79.5	69.2		37.8		532	4.56

ДП – дерново-подзолистая, ДОП – дерновая оподзоленная, Ч – чернозем, Л – луговая, ТС – темно-серая оподзоленная почва.

**Таблица 2.** Активность естественных радионуклидов в углях и золе Трипольской ТЭС, Бк/кг.

Образец		Ряд $^{238}\text{U}$				Ряд $^{232}\text{Th}$		Ряд $^{235}\text{U}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$
		$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$	$^{228}\text{Ac}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{223}\text{Ra}$		
Б-13	зола	151	370	431	611	147	121	538	850	2.45
Б-14	зола	150	478	740	1210	289	207	791	1720	3.19
Б-28	зола		368	282	238	110		330	750	
Среднее	зола	150.5	405	484	686	182	164	553	1107	2.82
Б-12	шлак	302	321	422	516	99.5	100	345	808	1.06
Б-26	шлак	136	281	479	542	137	107	383	855	2.07
Среднее	шлак	219	301	451	529	118	104	364	832	1.56

При вековом равновесии активности дочерних изотопов равны активности материнского изотопа, хотя количество их нуклидов отличается пропорционально периодам полураспада. То есть, в паре изотопов  $^{228}\text{Ra}$  -  $^{228}\text{Ac}$  по активности гамма-излучателя  $^{228}\text{Ac}$  можно судить об активности бета-излучающего  $^{228}\text{Ra}$ . В соответствии с уравнением (2) равновесие между этими двумя изотопами устанавливается на 99% через 48 часов, на 90% - через 20 часов.

Короткоживущие изотопы  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  являются по существу индикаторами их материнского изотопа радона  $^{222}\text{Rn}$ , образующегося, в свою очередь, вследствие распада  $^{226}\text{Ra}$ .

Сравнение концентраций ЕРН в почвах, в золе и в угле показывает, что зола ТЭС существенно обогащена изотопами радия, в частности  $^{226}\text{Ra}$ , а также  $^{40}\text{K}$ . В то же время, в золе можно отметить обеднение изотопом  $^{234}\text{Th}$ , он накапливается предпочтительно в шлаке (табл. 2). То есть, в золе ТЭС существенно нарушено равновесие между изотопами уранового ряда  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{234}\text{Th}$ . Аналогичные данные были получены также по результатам исследования распределения ЕРН в золе и шлаках Трипольской ТЭС [4].

Очевидно можно сделать вывод, что обогащение почв такими радионуклидами, как  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  может быть следствием накопления этих радионуклидов, выпавших в составе золы-уноса из труб ТЭС. В качестве индикатора техногенного накопления радионуклидов в почве, по-видимому, можно принять также отношение радионуклидов  $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$ , которое в золе Бурштынской и Трипольской ТЭС колеблется от 2,5 до 6,8. В почвах зоны влияния Бурштынской ТЭС  $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$  составляет от 1,0 до 4,6 (табл. 1), в зоне влияния Трипольской ТЭС – от 0,12 до 4,8 [4].

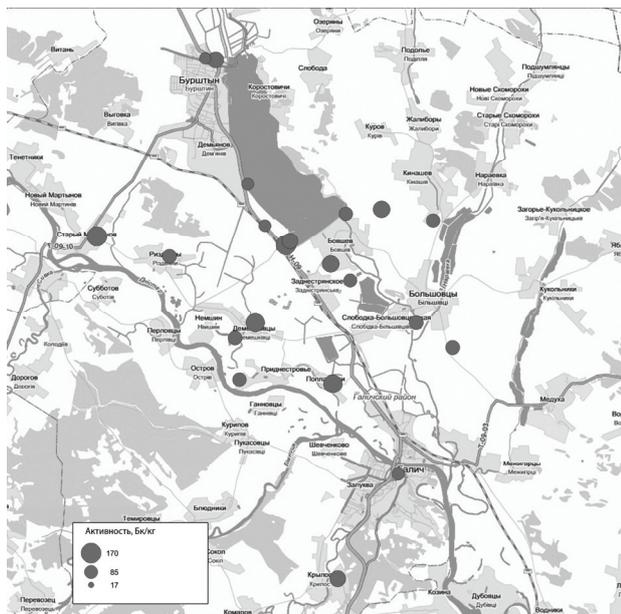
Поступление аэрозольных загрязнителей из атмосферы на подстилающую поверхность происходит двумя основными путями – в результате сухого и мокрого осаждения [5]. Сухое осаждение, в случае газов и частиц диаметром менее 10 мкм, происходит вследствие турбулентной диффузии и броуновского движения, для более крупных частиц преобладающим фактором является гравитация. Поскольку сухое осаждение происходит из приземного слоя атмосферы, в случае высокого источника выбросов и ветра, даже несильного, оно начинается на значительном расстоянии от источника.

Влажное осаждение включает два механизма – вымывание из облаков, и захват каплями дождя или снегом ниже облаков. Таким образом, влажное осаждение вовлекает частицы загрязнителя на любой высоте, и начинается непосредственно от источника выбросов. Также отметим, что интенсивность влажного осаждения значительно выше, чем сухого.

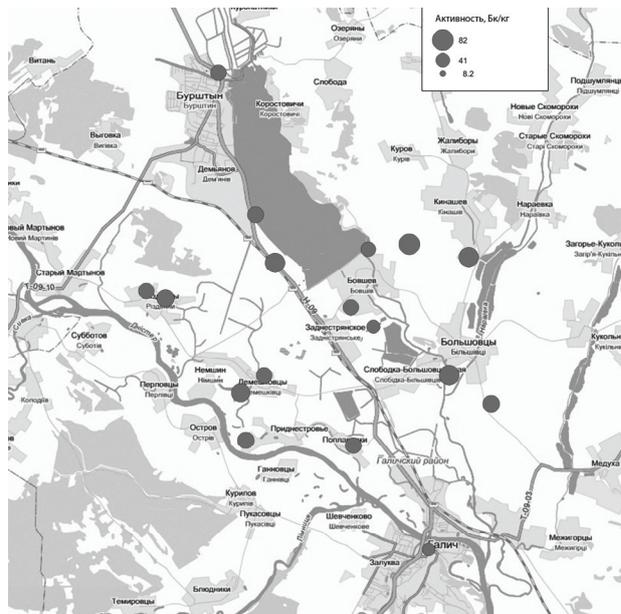
Все эти процессы сопровождаются радиоактивным распадом исходных радионуклидов и накоплением дочерних продуктов распада. Поскольку величина загрязнения почвы, возникающего в результате многолетнего протекания описанных процессов, с увеличением расстояния от источника уменьшается постепенно, сложно выделить какой-либо «радиус загрязнения». Вероятно, более корректной будет формулировка «около 10% аэрозольных выбросов твердых частиц оседают в радиусе 50 км от источника».

За счет влажного осаждения аэрозолей ТЭС можно было бы ожидать накопления ЕРН в непосредственной близости от источника загрязнения. Однако, карты распределения  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$  в почвах зоны влияния Бурштынской ТЭС, приведенные на рис. 4 и 5, демонстрируют отсутствие явной закономерности распределения этих радионуклидов в зависимости от расстояния от ТЭС.

Интервалы концентраций ЕРН и их средние значения сгруппированы для дерново-подзолистых и черноземных почв в зависимости от удаленности точек отбора от источника загрязнения в таблице 3. Для сравнения приведены также интервалы концентраций радионуклидов в золе Бурштынской ТЭС.



**Рис. 3.**  $^{226}\text{Ra}$  в почвах зоны влияния Бурштынской ТЭС.



**Рис. 4.**  $^{228}\text{Ra}$  в почвах зоны влияния Бурштынской ТЭС.

**Таблица 3.** Интервалы концентраций радионуклидов и их средние значения в почвах из зоны влияния Бурштынской ТЭС, Бк/кг

Расстояние от ТЭС	$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{223}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
<b>Дерновые и луговые почвы</b>					
От 2 до 4 км	<u>72,7 (4)</u> 64,0-81,8	<u>111 (6)</u> 63,4-154	<u>53 (6)</u> 36,1-81,5	<u>170 (6)</u> 98-301	<u>530 (4)</u> 420-804
От 4 до 6 км	<u>59,8 (3)</u> 36,1-75,1	<u>97,4 (2)</u> 96,8-98,0	<u>59,0 (3)</u> 50,4-66,4	<u>234 (3)</u> 207-258	<u>487 (3)</u> 458-531
От 6 до 7 км	<u>70,0 (2)</u> 63,8-75,7	<u>139 (3)</u> 93-167	<u>57 (2)</u> 56,8-57,2	<u>215 (2)</u> 168-261	<u>667 (3)</u> 496-910
От 10 до 14 км	<u>26,1 (2)</u> 25,0-27,1	<u>96,8 (2)</u> 79,6-114	33,7 (1)	173 (1)	<u>564 (2)</u> 532-596
<b>Черноземные почвы</b>					
До 1 км	68,8 (1)	<u>120 (3)</u> 72,3 - 169	74,8 (1)	132 (1)	<u>526 (3)</u> 501-568
От 4 до 6 км	-	88,7 (1)	73,2 (1)	227 (1)	648 (1)
От 6 до 7 км	<u>46,4 (3)</u> 26,2-82,8	<u>92,1 (3)</u> 80-132	<u>59,7 (3)</u> 50,5-73,2	<u>206 (3)</u> 105-290	<u>662 (4)</u> 552-898
Зола ТЭС	<u>150,5 (2)</u> 150-151	<u>405 (3)</u> 368-478	<u>182 (3)</u> 110-289	<u>553 (3)</u> 330-791	<u>1107 (3)</u> 750-1720

В числителе приведены средние значения активности (в скобках – число образцов), в знаменателе – пределы значений.

Интервалы концентраций ЕРН в почвах каждой из зон отбора проб весьма широки, интервалы значений активности отдельных радионуклидов для образцов различной удаленности отбора часто перекрываются между собой. Средние значения концентраций  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$  очень незначительно различаются внутри групп дерновых и луговых почв и черноземов различной удаленности отбора (табл. 3).

По-видимому, в большинстве случаев незначительные вариации концентраций ЕРН в почвах в районе Бурштынской ТЭС, отраженные в таблице 3, являются скорее особенностью этих почв, чем следствием техногенного привноса радионуклидов. Почвы имеют достаточно значимый естественный радиоактивный фон и характеризуются настолько индивидуальными соотношениями ЕРН, что незначительная добавка техногенной составляющей не позволяет установить усредненный тренд распределения радионуклидов по площади.

Как и в зоне влияния Трипольской ТЭС [4], в районе Бурштынской ТЭС также можно отметить отдельные точки, где почвы обогащены изотопом  $^{226}\text{Ra}$ . Так, в южном и юго-восточном направлениях повышенное содержание  $^{226}\text{Ra}$  обнаружено в черноземной почве Б-16, отобранной примерно в 800 м от Бурштынской ТЭС, в дерново-оподзоленной почве Б-2 (3,9 км от ТЭС) и в луговых почвах Б-6 (2,5 км) и Б-18 (6,4 км). Причем в точках Б-2 и Б-6 отмечено также повышенное содержание нуклида  $^{223}\text{Ra}$ . Такое комплексное обогащение этих почв изотопами радия, которыми богата зола ТЭС, может свидетельствовать о накоплении в них техногенной составляющей ЕРН. Луговая почва Б-18, помимо повышенного содержания  $^{226}\text{Ra}$ , отличается также высоким содержанием  $^{40}\text{K}$ , которым обогащена зола ТЭС.

В западном направлении от Бурштынской ТЭС в луговой почве Б-21 (6,9 км от ТЭС) отмечено максимальное для луговых почв содержание  $^{226}\text{Ra}$  (167 Бк/кг). Отобранная, примерно на том же расстоянии (6,7 км) на северо-запад от ТЭС, черноземная почва Б-23 характеризуется не только высоким для этого типа почв содержанием  $^{226}\text{Ra}$  (115 Бк/кг), но и повышенным значением отношения  $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$ , равного 3,8. Эта почва также обогащена изотопом  $^{40}\text{K}$  (619 Бк/кг). В комплексе полученные данные позволяют предположить загрязненность почвы Б-23 техногенными ЕРН.

### **Выводы.**

1. При сгорании угля с дымовыми выбросами в атмосферу поступают частицы золы-уноса, содержащие ЕРН, которые выпадают на поверхность почвы в течение работы ТЭС. Зола Бурштынской ТЭС обогащена изотопами  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ .
2. Почвы содержат ЕРН, унаследованные от материнских горных пород, и характеризуются нарушениями радиоактивного равновесия между изотопами в рядах распада  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ , которые являются следствием как геохимических процессов формирования и функционирования почв, так и образования газообразных продуктов распада.
3. Обогащение почв изотопами радия, в частности  $^{226}\text{Ra}$ , а также повышение отношения изотопов  $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{Th}$  можно считать показателями техногенного привноса продуктов сгорания угля.
4. Добавка техногенной составляющей ЕРН от выбросов Бурштынской ТЭС является недостаточно масштабной по сравнению с содержанием тех же радионуклидов в почве для установления усредненного тренда распределения радионуклидов по площади.
5. В зоне влияния Бурштынской ТЭС в южном и юго-западном, а также в западном и северо-западном направлениях на расстоянии до 7 км от ТЭС отмечены отдельные точки, где наблюдается обогащение почв изотопами радия и  $^{40}\text{K}$ .

1. Пивоваров Ю.П. Радиационная экология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.П. Пивоваров. – М.: Издательский центр Академия/ - 2004. – 240с.
2. Давыдов М.Г. Радиоэкология. //– М. – Наука. – 2002. 154 с.

3. Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда.// – М. – Энергоиздат. - 1984. - 312 с.
4. Кононенко Л.В., Бондаренко М.Г., Маничев В.И., Власенко В.И. Естественные радионуклиды в почвах зоны влияния Трипольской ТЭС // Техногенно-экологічна безпека та цивільний захист. – 2011. - Випуск 3. - Київ-Кременчук. - Видавництво «Християнська Зоря». – С. 129-141.
5. R.L.Buckley Modeling atmospheric deposition using a stochastic transport model. WSRC-TR-99-00409. 1999.

### **Кононенко Л.В., Бондаренко М.Г., Маничев В.И., Власенко В.И. ПРИРОДНІ РАДІОНУКЛІДИ В ҐРУНТАХ ЗОНИ ВПЛИВУ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС.**

*Концентрації природних радіонуклідів (ПРН) визначені в ґрунтах зони впливу Бурштинської ТЕС і в зразках золи ТЕС. Встановлено, що забруднення ґрунтів ПРН від викидів Бурштинської ТЕС є незначним порівняно з їх вмістом у ґрунті, що не дозволяє встановити усереднений тренд розподілу техногенної складової ПРН по площі. Відзначені окремі точки у зоні впливу ТЕС, де спостерігається збагачення ґрунтів ізотопами радію та <sup>40</sup>К.*

### **Kononenko L.V., Bondarenko M.G., Manichev V.I., Vlasenko V.I. NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS OF THE BURSHTYN TPP ZONE OF INFLUENCE.**

*Concentration of natural radionuclides are determined in the soils of the zone of influence Burshtyn TPP and in the samples of TPP ashes. Found that soil contamination by natural radionuclides from Burshtyn TPP emission is negligible compared with their content in the soil. It does not allow to establish an averaged trend of distribution of anthropogenic component of natural radionuclides on the square. The slight enrichment of soil by radium isotopes and <sup>40</sup>K was noted in the individual points in the influence zone of Burshtyn TPP.*