

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ПРОМПЛОЩАДКИ ЧАЭС

Н. И. Панасюк

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Показано, что признаком наличия в подземной воде промплощадки ЧАЭС топливного урана может быть отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, превышающее значение 1,1.

Ключевые слова: промплощадка ЧАЭС, подземные воды, топливный уран, отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

В рамках радиогидроэкологического мониторинга объекта «Укрытие» наблюдаются подземные воды: инфильтрационные воды, верховодка, безнапорный и бучакский напорный водоносные горизонты.

Инфильтрационные воды наблюдаются по высачиванию воды на стенках колодца № 1 (точки наблюдения ЗА1 Кол1, ЗА2 Кол1).

Глубина залегания верховодки 5-6 м. Верховодка наблюдается по одной скважине 4-2н.

Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется от 5 до 14 м в зависимости от гипсометрии дневной поверхности. Мощность безнапорного водоносного горизонта около 30 м. Движение грунтовых вод направлено с юга на север или север-северо-восток с уклоном 0,001 - 0,002 и действительной скоростью движения 20 - 30 м/год. Разгрузка безнапорного водоносного горизонта осуществляется в р. Припять.

Опробование безнапорного водоносного горизонта проводится по 50 наблюдательным скважинам, расположенным вокруг здания 2-й очереди ЧАЭС (3-й и 4-й блоки ЧАЭС).

Наблюдательные скважины подразделяются на «мелкие», рабочая часть фильтра которых размещается в верхней части водоносного горизонта (интервал отметок в БСВ 105 - 110 м) и «глубокие», интервал установки рабочей части фильтра которых располагается в средней части водоносного горизонта (отметки 90 - 103 м).

Радиоактивное загрязнение грунтовых вод в районе объекта «Укрытие» обусловлено, в основном, присутствием в них ^{90}Sr , ^3H , ^{137}Cs , Pu , ^{241}Am и урана.

Превышение $\text{ДК}_6^{\text{ingest}}$ по ^{90}Sr и ^{137}Cs в пробах грунтовых вод из некоторых скважин радиогидроэкологического мониторинга составляют десятки и сотни раз. В отдельные периоды по отдельным скважинам фиксировались превышения $\text{ДК}_6^{\text{ingest}}$ по плутонию и ^{241}Am . Но в целом уран и трансураниевые радионуклиды до сих пор не рассматривались как значимый источник радиоэкологической опасности из-за преимущественно невысоких концентраций, в основном не превышающих $\text{ДК}_6^{\text{ingest}}$. Вместе с тем по отдельным наблюдательным скважинам наблюдаются высокие (20 - 26 мкг/л) концентрации урана, не характерные для природного урана в воде аллювиального водоносного горизонта. Например, фоновые концентрации природного урана в подземных водах в районе оз. Карачай [1] составили 0,49 мкг/л. По данным [2], в породах с нормальным рассеянным содержанием радиоактивных элементов подземные воды содержат природный уран в количествах $n \cdot 10^0$ - $n \cdot 10^{-1}$ мкг/л. Т.е. весьма вероятно, что высокие концентрации урана в аллювиальном водоносном горизонте промплощадки ЧАЭС связаны с дополнительным присутствием в воде топливного урана. Пути поступления (источники загрязнения) топливного урана в подземные воды в порядке значимости могут быть следующие:

выход высокоактивных внутриблочных вод объекта «Укрытие» в окружающую среду;
потери активной воды из подземных коммуникаций;

инфильтрующиеся к уровню грунтовых вод через высокоактивные грунты зоны аэрации атмосферные осадки.

Для обнаружения источников радиоактивного загрязнения и осуществления прогнозов изменения радиационной обстановки в подземных водах требуется выделить признаки присутствия топливного урана на фоне природного урана.

К таким признакам могут быть отнесены различия в соотношении изотопов топливного и природного урана. В данной статье, прежде всего, рассматривается возможность использования в качестве такого признака отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, превышающее природное соотношение.

Характеристика природного урана. Изотопный состав природного урана приведен в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики изотопного состава природного урана

Изотопный состав	^{234}U	^{235}U	^{238}U	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$
Отношения активностей				1	0,046
Массовая доля (%), массовые отношения	0,0056	0,721	99,274	0,000056	0,0073

Как видно из таблицы, отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природном уране (минералы, подземные воды) равно 1. Вместе с тем в ряде работ, например в [3], отмечается возможность превышения соотношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природных водах до 4. При выщелачивании природными водами урана собственно из урановых минералов (уранинит) отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ преимущественно составляют 1. Аномально высокие соотношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ приурочены к природным водам урановых месторождений, которые выщелачивали рассеянный уран из различных образований (монацит, циркон), где уран имеет подчиненное содержание. Также наблюдается обогащение концентраций ^{234}U в микронарушениях кристаллической решетки урансодержащих минералов [3]. Для аллювиальных водоносных горизонтов, преимущественно представленных водовмещающими кварцевыми песчаными грунтами, сдвиг равновесия природного урана в сторону ^{234}U не является характерным.

Характеристика топливного урана. Расчетная массовая доля ^{235}U в ядерном топливе 4-го блока ЧАЭС в зависимости от выгорания изменяется от 0,83 % (выгорание 14,86 кг/т урана) до 1,86 % (выгорание 1,3 кг/т урана) при среднем значении 1,06 % [4].

Изотопный состав урана в «горячих» частицах (ГЦ) и почве ближней зоны ЧАЭС приведен в табл. 2 [5].

Таблица 2. Изотопный состав урана (массовая доля (%), массовые отношения) в «горячих» частицах и почве ближней зоны (измерения масс-спектрометрические)

№ пробы	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{236}\text{U}$
1 (ГЧ)	0,018	0,9	0,19	98,99	0,000182	0,0091	4,74
2 (ГЧ)	0,018	1,0	0,18	98,80	0,000182	0,01	5,56
3 (ГЧ)	0,018	0,98	0,18	98,82	0,000182	0,0099	5,44
4 (почва)	0,016	1,17	0,16	98,65	0,000162	0,01	7,31

Как видно из таблицы, массовая доля ^{235}U в топливе 4-го блока (в «горячих» частицах) составляет 0,9 - 1,17 %. Но, при альфа-спектрометрических измерениях концентраций ^{235}U , из-за высоких погрешностей ($\pm 30 - 60$ %) [6], отделить в грунтовых водах «чисто» природный уран от смеси топливного и природного урана не всегда представляется возможным. Кроме того, в отдельных случаях в образцах собственно ядерного топлива 4-го блока ЧАЭС [см. 5] соотношения $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ могут быть практически равны природному (0,00720). Хотя в этом же образце соотношения массовых концентраций $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ равно $0,00014 \pm 0,00004$, что соответствует отработавшему ядерному топливу 4-го блока ЧАЭС.

Для проб почв из ближней зоны соотношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ изменяются от 1,69 до 3,06 [5].

Характеристика распределений изотопов урана в блочных водах. Максимальное содержание топливного урана в блочных водах в 2007 г. составило 0,012 г/л [7].

Массовые доли изотопов урана в блочных водах приведены в табл. 3 [8].

Таблица 3. Среднее значение массовых долей изотопов урана в пробах блочных вод

Изотопный состав и соотношения урана	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}/^{236}\text{U}$
Массовая доля (%), массовые отношения	0,0152	1,095	0,185	98,71	0,000154	0,011	5,92

Из приведенного выше можно сделать следующие выводы:

присутствие ^{236}U однозначно указывает на загрязнение подземных вод топливным ураном;

на присутствие топливного урана в подземных водах могут указывать повышенные концентрации ^{235}U ;

на присутствие топливного урана в грунтовых водах локальной зоны объекта «Укрытие» могут указывать и отношения активностей (или массовых концентраций) $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, превышающие природное соотношение, равное 1, что характерно для топливного урана.

Экспериментальная часть. Определения концентраций урана в подземных водах с 2005 г. осуществлялись альфа-спектрометрическим методом, так как в НРБУ-97 приводятся допустимые концентрации урана (кроме ^{236}U) отдельно по каждому изотопу, выраженные в единицах активности Бк/м³. До этого концентрации урана определялись лазерно-люминесцентным методом. Определения объемных активностей урана в пробах подземных вод выполнялись в лаборатории отделения ядерной и радиационной безопасности Института проблем безопасности АЭС НАН Украины.

Уран в пробах воды определялся на восьмиканальном альфа-спектрометре фирмы EG&G ORTEC OSTETE PC с полупроводниковыми кремниевыми детекторами серии BU-017-450-100 ULTRA с эффективностью регистрации 25 % при расстоянии от источника 12 мм. Определения выполнялись после ионнообменного выделения. Для определения химического выхода урана вносилась метка ^{232}U . Подготовка проб воды заключалась в последовательном фильтровании через бумажный фильтр «белая лента», мембранный фильтр с размером пор 0,2 мкм. Потом проводилось упаривание проб объемом 1,5 - 2 л до влажных солей. Далее озоление органических составляющих выполнялось обработкой сухого остатка концентрированной HNO_3 с добавлением H_2O_2 . Погрешность определения ^{235}U составляет 30 - 60 %. Погрешность определения активности ^{234}U и ^{238}U находится в пределах 15 - 30 %. Энергетическое разрешение равно 19 кэВ на линии 5486 кэВ (^{241}Am).

За время наблюдений 1996 - 2007 гг. в рамках радиогидроэкологического мониторинга объекта «Укрытие» значения концентраций урана в грунтовых водах зафиксированы в пределах от 0,003 до 356 мкг/л.

Аномально максимальное значение концентрации урана (356 мкг/л) были приурочены к пробам из скважины 3-Г и относятся к марту 1997 г., когда во всех скважинах группы «Г» неожиданно возросли объемные активности радионуклидов.

За исключением вышеприведенного случая, максимальные концентрации урана в грунтовых водах не превышали 10 - 26,1 мкг/л.

Высокие концентрации урана в пробах подземных вод приурочиваются к трем участкам и фиксируются в пробах из скважин:

1-2А, 1-3А, 4-2Г, 4-3А, 8-1А, 1-4А, 9-2А и 9-3А, С-3Б, расположенных на первом уступе каскадной стены и севернее локальной зоны объекта "Укрытие". Все эти скважины расположены ниже по потоку грунтовых вод от объекта "Укрытие";

С-11, пробуренной у западной стены 3-го блока ЧАЭС;

С-16А, С-16Б, С-23А, С-24, 7-1А, расположенных в районе напорного бассейна 2-й очереди ЧАЭС южнее машинного зала ЧАЭС. Вероятно, это произошло за счет потерь воды

из напорных бассейнов в период их эксплуатации. Вместе с тем по данным скважин нельзя исключить влияние процесса растворения природного урана из щебня изверженных пород, который использовался для приготовления бетона сооружений отводящего и подводящего каналов, машинного зала и пр., которые затоплены грунтовыми водами.

Таким образом, и в данном конкретном случае возникает проблема идентификации природы загрязнения грунтовых вод ураном.

Одним из путей поступления урана в безнапорный водоносный горизонт являются инфильтрационные воды и вода верховодки. Радиоактивное загрязнение верховодки и инфильтрационных вод формируется за счет растворения и выщелачивания радионуклидов из частичек ядерного топлива, выпавшего во время аварии и захороненного в грунтах при формировании послеаварийной техногенной насыпи. Как видно из рис. 1 и табл. 4, для инфильтрационных вод и верховодки соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ превышают природные соотношения и изменяются от 1,37 до 2,08. Кроме того, в пробах воды из зоны аэрации присутствует ^{236}U , не встречающийся в природных условиях и являющийся четким репером топливного урана. На присутствие топливного урана в воде верховодки также указывают повышенные концентрации ^{235}U (см. табл. 4).

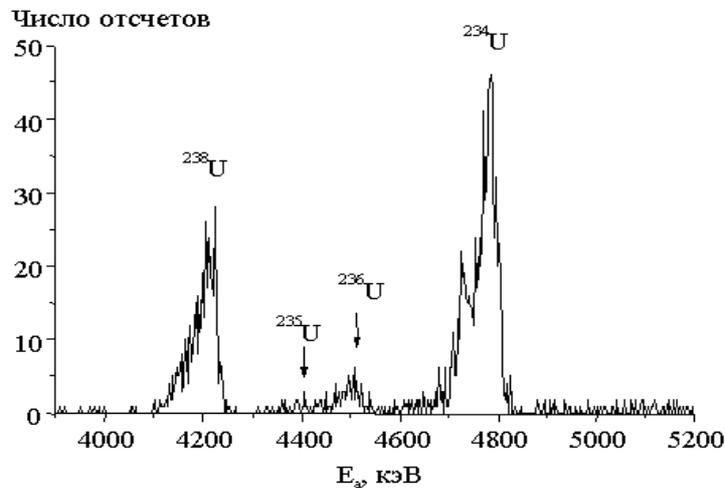


Рис. 1. Альфа-спектр урана, выделенного из инфильтрационных вод (зона аэрации).

Таблица 4. Изотопный состав урана в пробах инфильтрационных вод и из верховодки

№ скважины	Концентрация, мкг/л	^{238}U , Бк/л	^{236}U , Бк/л	^{235}U , Бк/л	^{234}U , Бк/л	$A(^{234}\text{U})/A(^{238}\text{U})$
4-2н	5,3	0,054	0,0017	0,0028	0,089	1,65
4-2н	4,9	0,06	< МДА*	0,0029	0,082	1,37
ЗА2 Кол-1	2,7	0,0332	0,0051	0,0019	0,069	2,08
ЗА1 Кол-1	21	0,2588	0,0321	0,0136	0,534	2,06

* Минимально детектируемая активность.

В грунтовых водах активности ^{236}U ниже МДА, а концентрации ^{235}U хотя и повышенные по отдельным пробам по сравнению с природными соотношениями, но эти значения находятся в пределах погрешностей измерений (30 - 60 %). Кроме того, как приведено выше, в отдельных случаях массовая доля ^{235}U в ядерном топливе 4-го блока ЧАЭС соответствует природному урану. Поэтому, на наш взгляд, повышенные концентрации ^{235}U не могут служить надежным признаком присутствия топливного урана в подземных водах на промплощадке ЧАЭС.

С целью идентификации топливного урана в подземных водах рассмотрим распределение соотношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в пробах грунтовых вод (рис. 2). На рис. 2, а показана гистограмма распределения отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для всех имеющихся проб, полученных для всех скважин. Значения распределены в достаточно широком интервале и имеются

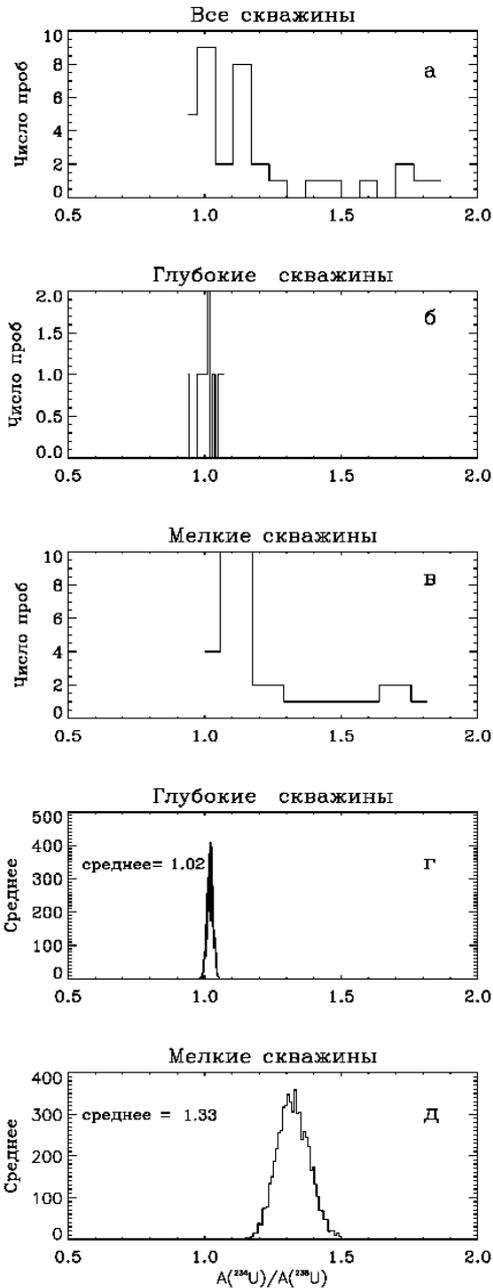


Рис. 2. Гистограммы: а - в - распределения соотношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в пробах подземных вод в районе объекта «Укрытие»; г, д – распределения определенных методом бутстрапа средних значений.

этим методом гистограммы распределения средних значений для "глубоких" и "мелких" скважин показаны на рис. 2, г, д. Из них ясно следует, что различие между полученными средними значениями далеко выходит за рамки неопределенностей их определения. Отсюда можно также сделать вывод, что если отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ превышает 1,1, то это свидетельствует о присутствии в воде топливного урана.

пробы, которые можно отнести к природному урану (интервал 0,95 – 1,05), а также наблюдается значительное количество проб с отношением, значительно превышающим 1, что нами связывается с присутствием топливного урана в подземных водах. Среднее значение соотношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в пробах подземных вод по всем скважинам составляет 1,23, что превышает соотношения для природного урана (равного 1, см. табл. 1). Несмотря на не очень большое число измерений, эту гистограмму явно нельзя рассматривать как разброс значений вокруг некоего среднего. Она имеет асимметрию в сторону больших значений, что вряд ли можно приписать ошибкам измерений.

Имеется, однако, возможность разделить наблюдательные скважины на две группы: "глубокие", фильтровая колонна у которых размещена в нижней части водоносного горизонта и которые расположены с южной стороны объекта "Укрытие", и "мелкие", фильтровая колонна у которых размещена в верхней части водоносного горизонта. Эти скважины расположены с северной стороны объекта "Укрытие", ниже по потоку грунтовых вод. Если рассмотреть отдельно результаты для "глубоких" скважин (рис. 2, б) и отдельно для "мелких" (рис. 2, в), то оказывается, что суммарная диаграмма (рис. 2, а) распадается на две части. Причем значения отношений, сгруппированные вблизи единицы, принадлежат пробам из "глубоких" скважин, а все повышенные отношения относятся к "мелким" скважинам.

Среднее значение отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для "глубоких" скважин равно 1,02, для "мелких" оно выше - 1,32 (табл. 5). Определим теперь, насколько значимо это различие, т.е. какова неопределенность в определении этих средних значений. Для этого воспользуемся так называемым методом бутстрапа [9], который позволяет выполнять такие оценки по единственной выборке. Результатом такой процедуры является гистограмма возможных средних значений, ширина которой и есть искомая неопределенность. Полученные

На рис. 3 показана карта распределения отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ по территории локальной зоны объекта "Укрытие", построенная по результатам анализируемых измерений. Видно, что повышенные (1,1 - 1,86) соотношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ по «мелким» скважинам преимущественно приурочиваются к участкам севернее объекта «Укрытие» и к участкам, непосредственно примыкающим (скважина С-11) к зданию 2-й очереди ЧАЭС (3-й и 4-й блоки). Этот результат является очередным независимым экспериментальным доказательством того, что радионуклидный состав подземных вод выше и ниже по потоку от объекта "Укрытие" различен и наиболее логичным объяснением этому является вытекание во внешнюю среду высокоактивных блочных вод. Как видно из табл. 5, среднее значение по скважине 4-Г еще выше и составило 1,46. Интерес к скважине 4-Г обусловлен тем, что на протяжении последних трех лет объемная активность ^{90}Sr в пробах из этой скважины увеличилась на два порядка и причиной этому было признано влияние выхода блочных вод в окружающую среду [10]. Т.е. было основание предполагать наличие топливного урана в пробах из скважины 4-Г, что и подтверждается соотношениями $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, находящимися преимущественно в пределах 1,07 - 1,93. Данные участки практически совпадают с предполагаемыми местами выхода блочных вод из объекта «Укрытие» в окружающую среду [11, 12], хотя нельзя исключить и влияние инфильтрационных вод. При этом, как видно из рис. 3, распределение соотношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в пробах из скважин, расположенных южнее машинного зала, не превышает 1,1, что соответствует природному урану, хотя валовые концентрации урана на этих участках достигают значения 20,6 мкг/л.

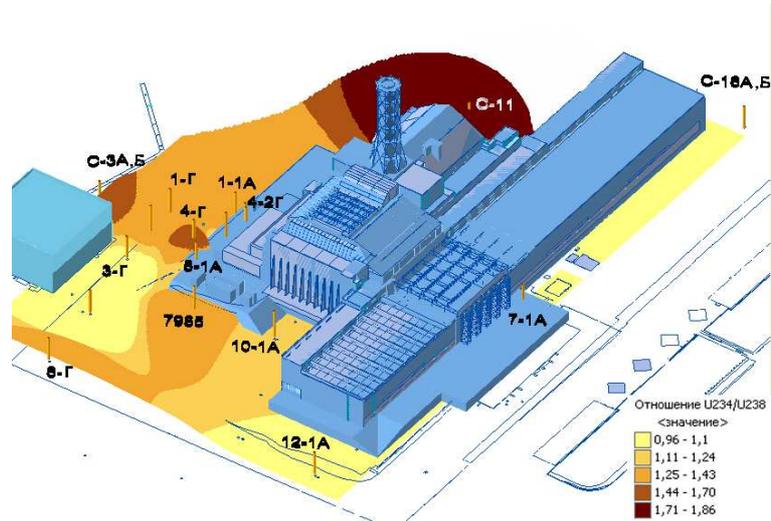


Рис. 3. Распределение отношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в пробах грунтовых вод (для «мелких» наблюдательных скважин).

Для «глубоких» наблюдательных скважин (скважины 1-3А, 4-3А, 1-4А, 9-3А), расположенных севернее объекта «Укрытие» рядом с вышеприведенными «мелкими» скважинами, отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ соответствует природному урану и изменяется в пределах 0,94 – 1,08. Т.е. миграция топливного урана с блочными водами еще не достигла средней части водоносного горизонта.

Подобная ситуация обнаруживается в пробах из скважин 12-1А, С-16Б, 7-1А, обладающих высокими концентрациями урана (4,55 – 26 мкг/л). Отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составляют 1,02 – 1,07, что с учетом погрешностей определения соответствуют соотношению активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для природного урана. Данные скважины расположены южнее и выше по потоку грунтовых вод от здания машинного зала ЧАЭС. Т.е. влияние топливного урана не привело к заметной деформации природных изотопных соотношений в грунтовых водах на данном участке в отличие от участка, расположенного ниже по потоку грунтовых вод от объекта «Укрытие», где в качестве основного источника радиоактивного загрязнения грунтовых вод выступают высокоактивные блочные воды.

Таблица 5. Распределение изотопов урана в пробах подземных водах из наблюдательных скважин, расположенных ниже по потоку от объекта «Укрытие»

№ скважины	Концентрация урана, мкг/л	^{238}U , Бк/л	^{236}U , Бк/л	^{235}U , Бк/л	^{234}U , Бк/л	$A^{234}\text{U}/A^{238}\text{U}$
209	6,30	0,0810	<МДА	0,0034	0,0860	1,06
209	2,2	0,027	<МДА	0,0011	0,028	1,04
51	1,10	0,0130	<МДА	0,0007	0,0150	1,15
51	0,86	0,011	<МДА	0,00055	0,013	1,18
4-Г	0,94	0,0116	<МДА	0,0005	0,012	1,07
4-Г	1,3	0,0160	<МДА	0,0008	0,023	1,46
4-Г	0,95	0,0117	<МДА	0,0006	0,015	1,27
4-Г	0,41	0,0051	<МДА	0,0002	0,006	1,23
4-Г	0,11	0,0014	<МДА	0,0001	0,0024	1,77
4-Г	0,11	0,0014	<МДА	0,0001	0,002	1,76
4-Г	0,21	0,0025	<МДА	<МДА	0,0029	1,16
4-Г	0,046	0,00057	<МДА	<МДА	0,0011	1,93
4-Г	1,4	0,018	<МДА	0,0009	0,027	1,50
50	0,42	0,0052	<МДА	<МДА	0,0061	1,17
69	3,20	0,0390	<МДА	0,0016	0,0460	1,18
69	1,70	0,021	<МДА	0,0010	0,0240	1,14
Среднее значение						1,32
Среднее значение по скважине 4 - Г						1,46

Выводы

Из вышеприведенного можно сделать вывод: о присутствии топливного урана в подземных водах промплощадки ЧАЭС можно судить по соотношению активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, превышающих значение 1,1 - 1,15. Особенно это актуально для проб, концентрации урана в которых невысокие и нет возможности достоверно оценить массовые долевые соотношения ^{235}U и ^{236}U при альфа-спектрометрических измерениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.А., Постовалова Г.А., Дрожко Е. Г. Миграция урана и трасурановых элементов в подземных водах района размещения открытого хранилища жидких радиоактивных отходов оз. Карачай // Вопросы радиационной безопасности. - 2005. - № 1. - С. 23 - 34.
2. Токарев А. Н., Щербаков А. В. Радиогидрогеология. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 265 с.
3. Чалов П.И. Изотопное фракционирование природного урана. - Фрунзе: Изд-во «Илим», 1975. - 236 с.
4. Щербин В. Н., Криницын А. П., Стрихарь О. Л. Определение ^{235}U в водотоках объекта «Укрытие» // Радиохимия. - 2000. - Т. 42, № 3. - С. 281 - 283.
5. Пазухин Э. М., Рудя К. Г. Изотопный состав урана в ЛТСМ 4-го блока и в выпадениях ближней зоны Чернобыльской АЭС // Там же. - 2002. - Т. 44, № 6. - С. 564 - 568.
6. Одинцов А. А., Хан В. Е., Краснов В.А., Пазухин Э. М. Радионуклиды в грунтовой воде наблюдательных скважин локальной зоны объекта «Укрытие» // Там же. - 2007. - Т. 49, № 5. - С. 467 - 472.
7. Контроль неорганизованных выбросов из объекта "Укрытие": (Заключит. отчет о НИР, договор № 249/01) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2007.
8. Одинцов А. А., Пазухин Э. М., Хан В. Е. Методика одновременного определения содержания урана и трасурановых элементов в грунтовой воде и жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие» // Радиохимия. - 2005. - Т. 47, № 5. - С. 467 - 471.

9. Davison A. C., Hinkley D. V. Bootstrap methods and their application / Cambridge University Press, 1997. – 592 p.
10. Акт № 18/8-18 (ЦРБ) расследования превышения величины контрольной концентрации ^{90}Sr в наблюдательной скважине 4-Г. ГСП «Чернобыльская АЭС, ТО, инв. № 19 от 03 04 2006 г.
11. Радиогидроэкологический мониторинг в районе объекта «Укрытие»: (Отчет о НИР) / Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины. Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины. – К., 2007.
12. Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Павлюченко Н.І. Использование спектрометрического гамма-каротажа при анализе источников радиоактивного загрязнения подземной среды // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2005. - № 1(14). – С. 144 – 149.

РОЗПОДІЛ УРАНУ В ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ПРОММАЙДАНЧИКА ЧАЕС

М. І. Панасюк

У статті показано, що ознакою наявності в підземних водах проммайданчика ЧАЕС паливного урану може бути відношення активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, що перевищує значення 1.1.

Ключові слова: проммайданчик ЧАЕС, підземні води, паливний уран, відношення активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

DISTRIBUTING OF URANIUM IN UNDERGROUND WATERS OF INDUSTRIAL SITE OF CHNPP

M. I. Panasyuk

In this article it is shown, that a presence of fuel uranium in underground water of industrial site of ChNPP can be ratio of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity that exceeds a value 1.1.

Keywords: industrial site of ChNPP, underground water, fuel uranium, ratio of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity.

Поступила в редакцію 07.07.09