

Метод оценки допустимого сброса радионуклидов в проточный водоем

О.Н. Прокофьев

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

За рубежом и в России практикуются сбросы в водоемы жидкостей, содержащих радионуклиды. С целью обеспечения радиационной безопасности окружающей среды и населения такие сбросы должны проводиться под контролем. Для проведения контроля требуется определять величину допустимого сброса радионуклидов в водоем с учетом конкретных условий и вести наблюдение за фактической величиной сброса. Величина допустимого сброса радионуклидов в водоем зависит от таких параметров, как его объем и скорость стока воды.

Ключевые слова: радионуклиды, жидкие отходы, сброс, радиоэкологическая емкость водоема.

На таких объектах народного хозяйства, как атомные электростанции и атомные реакторы, образуется большое количество радиоактивных отходов в виде сточных вод, содержащих радионуклиды [1]. Осуществление глубокой очистки значительных объемов сточных вод требует больших затрат трудовых и материальных ресурсов и вследствие этого не всегда оправдано экономически. В условиях возрастающего использования ядерных технологий и радиоактивных веществ в народном хозяйстве не представляется возможным полностью исключить сбросы радионуклидов в водоемы со сточными водами. Жидкие отходы, содержащие радионуклиды (например, воды спец. прачечных и душевых), перед сбросом в водоем обычно очищают от радионуклидов. Все же некоторое количество радионуклидов и после очистки остается в сточных водах и вместе с ними поступает в водоемы.

Вследствие радиоактивного распада радионуклиды относятся к категории неустойчивых загрязнителей. Это обстоятельство и дает возможность установить величины допустимых сбросов жидких отходов, при отсутствии превышения которых не будет происходить повышение удельной активности радионуклидов в воде и других объектах окружающей среды. Например, в Хенфорде жидкие отходы с удельной активностью меньше 1.85 кБк/л удаляют непосредственно в фильтрующие болота и пруды [2].

Жидкие отходы считаются радиоактивными, если удельная активность радионуклида в них более, чем в 10 раз превышает уровень вмешательства (см. п.3.12.1 ОС-ПОРБ-99 [3]), приведенный в приложении 2 НРБ-99 [4]. На объектах народного хозяйства могут накапливаться большие количества смывных и сточных вод с удельной активностью радионуклида ниже уровня вмешательства. Такие жидкие радиоактивные отходы в соответствии с п.3.12.1 Основных санитарных правил [3] не квалифицируются как радиоактивные. Проведение очистки больших объемов смывных и сточных вод с низкой удельной активностью требует больших трудовых и материальных затрат и не всегда оправдано экономически.

Величина годового допустимого сброса радионуклида со сточными водами зависит от параметров и условий хозяйственного использования водоема, принимающего

сброс. В данном сообщении предложена методика оценки величины допустимого годового сброса радионуклида со сточными водами в проточный водоем.

Средняя величина годовой эффективной дозы от природных источников излучения составляет 2 мЗв в год [5]. В зависимости от региона и условий проживания людей имеет место широкий диапазон изменения величины эффективной дозы от природных источников излучения [6,7]. На этом фоне добавку к облучению населения на уровне 10% от эффективной дозы за счет природных источников излучения трудно обнаружить. На этом основании величину сброса радионуклида в водоем можно считать допустимой, если этот сброс не вызывает дополнительного облучения населения, использующего водоем в хозяйственных целях, на уровне более 10% средней годовой эффективной дозы от природных источников излучения.

В работе [8] введено понятие радиоэкологической емкости окружающей среды для количественной оценки степени накопления радиоактивных и химических загрязнителей в звеньях природной среды. Это понятие распространяется в том числе и на водоем. Активность радионуклида, однократно введенного в водоем, с течением времени уменьшается. Это происходит, главным образом, вследствие радиоактивного распада и выноса радионуклида со стоком воды из водоема. Для практического осуществления сбросов радионуклидов в водоемы важно иметь возможность определять радиоэкологическую емкость водоема, которая принимается равной мощности непрерывного стационарного сброса радионуклида в водоем, при которой удельная активность радионуклида в воде водоема сохраняется с течением времени на заданном безопасном уровне. Этот уровень должен определяться, исходя из характера хозяйственного использования водоема.

Скорость изменения с течением времени полной активности радионуклида в воде водоема определяется мощностью непрерывного поступления радионуклида в водоем со сточными водами, радиоактивным распадом радионуклида в водоеме и выносом радионуклида из водоема со стоком воды. Этот процесс можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$dA/dT = P - \lambda \cdot A - \omega \cdot A / Y, \quad (1)$$

где A – полная активность радионуклида в воде водоема, кБк;
 P – мощность непрерывного стационарного поступления радионуклида в водоем, кБк/год;

λ – постоянная радиоактивного распада радионуклида, год⁻¹;

ω – скорость стока воды из водоема, м³/год;

Y – объем воды в водоеме, м³.

При условии сохранения с течением времени (после установления равновесия) уровня полной активности радионуклида в воде водоема на постоянном уровне $dA/dt=0$, и из уравнения (1) следует равенство:

$$P = \lambda \cdot A + \omega \cdot A / Y. \quad (2)$$

Удельная активность радионуклида в воде водоема определяется по формуле $\alpha = A/Y$. С учетом этого из формулы (2) следует соотношение для удельной активности радионуклида в воде водоема в состоянии динамического равновесия

$$\alpha = P / (\lambda \cdot Y + \omega). \quad (3)$$

При осуществлении допустимого сброса радионуклида в водоем его удельная активность в воде не должна превышать назначенный допустимый уровень α_0 .

Тогда для обеспечения равновесного состояния при постоянном уровне удельной активности радионуклида α_0 в водоеме допустимая мощность непрерывного стационарного сброса P_0 радионуклида в водоем в соответствии с уравнением (3) должна быть равна

$$P_0 = \alpha_0 \cdot (\omega + \lambda \cdot Y). \quad (4)$$

Величина допустимой мощности непрерывного стационарного сброса радионуклида в водоем P_0 определяет радиоэкологическую емкость водоема. Видно, что радиоэкологическая емкость водоема повышается пропорционально увеличению скорости стока воды из водоема и имеет более высокое значение для сравнительно более короткоживущих радионуклидов.

Практический интерес представляет также ситуация, когда в водоем одновременно сбрасываются радиоактивные отходы, содержащие не один радионуклид, а смесь радионуклидов. Уровень вмешательства для каждого радионуклида определен в виде величины удельной активности радионуклида в питьевой воде, при которой в случае потребления этой воды человеком в количестве 2 л в сутки в течение 1 года эффективная доза облучения составит 0,1 мЗв [4]. Отношение величины удельной активности радионуклида в питьевой воде к его удельной активности на уровне вмешательства показывает, во сколько раз годовая эффективная доза облучения в случае потребления этой воды будет больше (или меньше) 0,1 мЗв. Это отношение определяет вклад в эффективную дозу от поступления любого радионуклида. Вклад в эффективную дозу от одновременного поступления смеси радионуклидов с водой можно получить путем суммирования указанных отношений для всех радионуклидов, присутствующих в воде, по формуле:

$$D = \sum_i \alpha_i / 10 \cdot YB_i, \quad (5)$$

где D – эффективная доза, мЗв;

YB_i – уровень вмешательства для радионуклида i , Бк/кг;

α_i – удельная активность радионуклида i в воде водоема, Бк/кг.

Мощность сброса радионуклида i в водоем с жидкими отходами равна

$$P_i = \beta_i \cdot v,$$

где v – мощность сброса жидких отходов в водоем, м³/год;

i – удельная активность радионуклида i в жидких отходах, кБк/м³.

При условии динамического равновесия сброс радионуклида в водоем равен его убыли из водоема. В этом случае имеет место равенство

$$v \cdot \beta_i = (\lambda_i \cdot Y + \omega) \cdot \alpha_i. \quad (6)$$

После подстановки величины удельной активности α_i радионуклида i из формулы (6) в соотношение (5) и его решения относительно v получена формула для расчета такой мощности жидкого сброса, содержащего радионуклиды, при которой в случае использования воды водоема для питья уровень внутреннего облучения составит D мЗв

$$v = D / \sum \beta_i / 10 \cdot YB_i (\lambda_i \cdot Y + \omega). \quad (7)$$

Для пояснения предлагаемого метода расчета величины мощности допустимого сброса радионуклидов в водоем рассмотрим пример. В составе жидкого сброса радионуклидов в водоем содержатся ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs с удельными активностями β_i соответственно 40, 5 и 8 кБк/м³. Сброс осуществляется в водоем объемом $Y=400000$ м³ со скоростью стока $\omega = 100000$ м³/год. Уровни вмешательства и постоянные распада рассматриваемых радионуклидов представлены в таблице. Величину допустимой дозы D от поступления радионуклидов с водой в течение года примем равной 0,1 мЗв.

Радионуклид	Кобальт-60	Стронций-90	Цезий-137
Уровень вмешательства, кБк/кг	0,041	0,005	0,011
Постоянная распада, год ⁻¹	0,1315	0,0238	0,0231

В результате расчета, выполненного по формуле (7), получена величина мощности допустимого сброса радионуклидов в рассматриваемый водоем, равная 2,22 м³/год.

Список используемой литературы

1. Источники и действие ионизирующей радиации [Текст] // НКДАР ООН. – Нью-Йорк, 1978. – С. 324-325.
2. Белицкий, А.С. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений [Текст] / А.С. Белицкий, Е.И. Орлова. – М.: Медицина, 1968. – 174 с.
3. Санитарные правила (СП 2.6.1.799-99) [Текст]: Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): утв. 27.12.99. – Взамен ОСП-72/87. – М.: Минздрав России, 1999. – 99 с.
4. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими ИИИ (СП 2.6.1.758-99) [Текст]: Нор-

- мы радиационной безопасности (НРБ-99): утв. 02.07.99. – Взамен НРБ-96. – М. : Минздрав России, 1999. – 116 с.
5. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects [Текст] // UNSCEAR, UN. – New York, 1982. – P.102.
6. Крисюк, Э.М. Дозы от природных источников ионизирующего излучения и возможности их ограничения [Текст] / Э.М. Крисюк // Радиационная гигиена: сборник трудов. – Л., 1987. – С. 149-153.
7. Крисюк, Э.М. Основные источники облучения населения и обусловленные ими дозы [Текст] / Э.М. Крисюк, Ю.О. Константинов, В.В. Никитин [и др.] // Радиационная гигиена: сборник трудов. – Вып.12. – Л., 1983. – С. 11-24.
8. Пристер, Б.С. Радиоэкологическая и токсикологическая емкость элементов природной среды [Текст] / Б.С. Пристер, С.В. Барбашов, Т.И. Доброва [и др.] // Вторая Всесоюзная конф. по сельскохозяйственной радиологии: тезисы докладов. – Т.1. – Обнинск, 1984. – С. 75-76.

O.N. Prokof'ev

The method of estimation of acceptable discharge of radionuclides into flowing reservoir

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. Abroad and in Russia there exist the practices of discharge of liquids, which maintain radionuclides in reservoirs. In order to ensure radiation protection of environment and population such discharge must be carried out under control. For carrying out of the control it is necessary to determine the value of acceptable discharge of radionuclides into reservoir with consideration of specific conditions and to supervise the actual value of discharge. The value of acceptable discharge of radionuclide into reservoir depends on such parameters as its volume and rate of the water pour off.

Key words: *radionuclides, liquid waste, discharge, radioecological capacity of reservoir.*

Поступила 19.06.08.