

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Н.Н. Казачёнок

Белорусско-Российский университет, г. Могилёв, Республика Беларусь,  
kazachenok.nina@mail.ru

## IDENTIFICATION OF SOURCES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF RIVER SYSTEM

N.N. Kazachonok

Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus

Аннотация. На примере системы реки Теча представлены принципы оценки источников загрязнения речной системы долгоживущими техногенными радионуклидами ( $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). При невозможности прямого измерения расхода воды в створах предлагается использовать методы решения задач оптимизации.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, речная система,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , задачи оптимизации.

### Введение

Возникновение и развитие атомной энергетики, создание ядерного оружия привели к загрязнению среды обитания человека техногенными радионуклидами. Для снижения уровней радиоактивного загрязнения заселенных территорий и экологических систем необходимо планирование эффективных мероприятий, направленных, в первую очередь, на выявление и ликвидацию или локализацию источников текущего радиоактивного загрязнения. Особое место среди загрязненных территорий занимают речные системы. Радионуклиды переносятся с речной водой на большие расстояния, загрязняют источники питьевого водоснабжения, попадают в Мировой океан.

### Объекты и методы

Исследования проводили в 2009-2013 гг. на территории Южно-Уральской биогеохимической провинции техногенных радиоактивных изотопов (ЮУП-ТРИ). Определение  $^3\text{H}$  в воде проводили методом прямого измерения на жидкостном  $\alpha$ -,  $\beta$ -радиометре Quantulus, активность  $^{137}\text{Cs}$  определяли выделяя после концентрирования на ферроцианиде никеля радиохимическим путем в виде сурьмянойодиодной соли,  $^{90}\text{Sr}$  определяли по дочернему  $^{90}\text{Y}$ , выделенному с использованием МИОМФК. После радиохимического выделения радионуклидов их активность определяли на малофоновых  $\beta$ -метрических установках УМФ-1500 и УМФ-2000 [1-4].

### Обсуждение результатов

На первом этапе необходимо исследовать структуру речной системы, ее морфологические и гидрологические особенности. *Гидрографическая сеть*. При ее описании необходимо отметить: основные водотоки, естественные притоки (постоянные и пересыхающие); родники; технологические каналы, коммуникации и другие источники сточных вод; естественные и технологические водоемы (проточные и непроточные). Необходимо определить территорию водосбора, для заболоченных участков поймы – контур стекания.

*Климатические особенности* и связанный с ними гидрологический режим. Определяют количество осадков и испаряемость в течение года, время ледостава, сроки половодий и межени. Также учитывают технологические особенности гидрологического режима: характер регулирования уровня воды, периодичность и объем попусков, объем сбросов сточных вод, фильтрацию из каналов и водоемов и т.д.

На втором этапе, с учетом морфологии речной системы ее русло разбивают на модули – водотоки или их участки с прилегающей поймой, для которых предполагается однородность условий и характера загрязнения.

При первичном разбиении ориентируются на: технологические каналы и стоки; крупные притоки; сопряжения геохимических ландшафтов.

Для радионуклидов с небольшим периодом полураспада (порядка нескольких суток) протяженность модулей выбирают так, чтобы время добегания было значительно меньше периода полураспада, либо рассчитывают поправку на распад.

Протяженность модулей должна быть такова, чтобы поправкой на испаряемость воды можно было пренебречь.

На границе модулей определяют места замыкающих гидрометрических створов.

На третьем этапе для каждого модуля в замыкающем створе определяют суммарный (жидкий и твердый) сток исследуемых радионуклидов. Для этого в живом сечении створа берут составную пробу из серии проб глубинного профиля. Время последовательного отбора проб в замыкающих створах модулей рассчитывают с учетом времени добегания для каждого модуля. По утвержденным методикам определяют удельную активность растворенных и взвешенных в воде радионуклидов, а также объемный расход воды модуля водотока. Произведение удельной активности растворенного и взвешенного радионуклида на объемный расход воды соответствует суммарному стоку радионуклида ( $F$ ).

Обозначают суммарный сток в замыкающем створе модуля  $i$  как  $F_i$ , а суммарный сток в замыкающем створе предыдущего модуля ( $i-1$ ) как  $F_{(i-1)}$ .

Если  $F_{(i-1)} > F_i$ , то в модуле преобладает «самоочищение» воды за счет сорбции радионуклидов в донных отложениях (а в паводок и в почве), и соответственно, загрязнение донных отложений и почвы. В таком случае загрязнителем является речная вода. Тогда

$$\Delta_F = (F_{(i-1)} - F_i) / S,$$

где  $S$  – площадь русла (в межень) или поймы (в паводок) определяет среднюю скорость загрязнения русла или поймы за расчетный период.

Если  $F_{(i-1)} < F_i$ , то в модуле происходит загрязнение воды.

В этом случае модуль  $i$  разбивают на модули второго порядка, выделяют на них замыкающие створы и повторяют до локализации источника. Таким источником может быть не выявленный ранее техногенный сток, поверхностный сток с загрязненной поймы, сток грунтовых вод и выход в речную систему загрязненных подземных вод (подобно Карачаевской линзе).

Если  $F_{(i-1)} \approx F_i$ , то внутри модуля сорбция и десорбция радионуклидов, взмучивание и осаждение взвешенных радиоактивных частиц сбалансированы.

Источника, оказывающего заметного влияния на уровни загрязнения компонентов речной системы Течи, на момент исследования не обнаружено [2-4, 6].

Факторы, влияющие на суммарный сток радионуклидов (скорость воды, сечение русла, действующая площадь водосбора, инфильтрация, модуль стока с водосборной территории, коэффициент стока, коэффициент подземного питания реки и другие характеристики) изменяются в разные годы и в течение одного года. Поэтому, исследования проводят неоднократно с учетом гидрологического режима речной системы.

Для предварительной оценки вклада каждого из выявленных источников используют метод задач оптимизации. Этот метод можно использовать и в тех случаях, когда объемный расход воды из разных источников неизвестен, или его невозможно измерить прямым способом [1, 5].

Для постановки задачи оптимизации необходимо сформулировать правила, определить переменные, ввести ограничения и задать целевую функцию. В качестве правил выступают конкретные значения удельных активностей радионуклидов в воде в замыкающих створах источников загрязнения (модулей ( $i$ - $I$ )). В качестве переменных – значения объемных расходов воды в этих створах. Ряд параметров, которые невозможно или излишне трудоемко определять прямым методом (склоновый, почвенный, подземный сток и т. п.), также задается как переменные. Начальные значения переменных задают с учетом математических требований (ненулевые значения делителей и др.). Ограничения устанавливаются, исходя из математических требований и из имеющейся информации о закономерностях гидрологического режима, поведения радионуклидов в различных средах и т.п. Целевая функция представляет собой сумму квадратов отклонений расчетных и фактических значений удельных активностей радионуклидов в замыкающем створе модуля смешивания ( $i$ ). Поскольку активности различных радионуклидов (например,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^3\text{H}$ ) могут отличаться на порядки, для целевой функции используют не абсолютные, а относительные значения отклонений:  $(A_{\text{факт}} - A_{\text{расч}}) / A_{\text{факт}}$ .

Необходимо учитывать, что при данном методе расчета определяются не действительные объемы и активности, а те, которые в наибольшей степени удовлетворяют условиям задачи. Поэтому для окончательных выводов следует провести расчеты для разных пар радионуклидов, в пробах воды, отобранных в разные периоды гидрологического года, и, сопоставляя результаты расчетов, определить «рейтинг» источников и его зависимость от различных факторов.

### Выводы

Из результатов нашего расчета источников загрязнения реки Теча следует, что  $^3\text{H}$  из В-11 в ПБК фильтруется беспрепятственно, активность его в воде В-11 ( $\approx 600$  Бк/л) и в поступающем в канал фильтрате одинакова.  $^{90}\text{Sr}$  в значительной степени сорбируется грунтом, его расчетная активность в фильтрате составляет  $\approx 21$ - $24\%$  от активности в воде В-11 (1480 Бк/л). По нашим данным и данным других исследователей содержание водорастворимых форм  $^{90}\text{Sr}$  в почвах разных типов составляет  $\approx 15$ - $20\%$  [1]. Таким образом, результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

## Литература

- [1] *Казачёнок Н.Н.* Геоэкология техногенных радиоактивных изотопов. Могилёв: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 283 с.
- [2] *Казачёнок Н.Н., Попова И.Я., Мельников В.С., Полянчикова Г.В., Коновалов К.Г., Тихова Ю.П.* Закономерности распределения  $^3\text{H}$  в открытых водоемах и источниках питьевого водоснабжения в зоне влияния ПО «Маяк» АНРИ, № 3, 2013. – С. 43-51.
- [3] *Казачёнок Н.Н., Попова И. Я., Мельников В.С., Полянчикова Г.В., Тихова Ю.П., Коновалов К.Г., Копелов А.И.*  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  в системе реки Теча. / Вода: химия и экология, № 11, 2013, С. 10-15.
- [4] *Казачёнок Н.Н., Попова И.Я.* Динамика радиоактивного загрязнения абиотических компонентов водных экосистем различных типов на Южном Урале. / Вода: химия и экология, 2016, №9. – С. 9-19.
- [5] *Казачёнок Н.Н., Попова И.Я., Мельников В.С.* Методика оценки источников радиоактивного загрязнения речной системы. / АНРИ, №2, 2014, С. 37-44.
- [6] Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2011 году. / Под ред. С.М. Вакуловского. – Обнинск, 2012. – 297 с.

S u m m a r y. On the example of the Techa river system the principles of assessment of sources of pollution of the river system by long-lived technogenic radionuclides ( $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) are presented. In case of impossibility of direct measurement of water flow in river stations are encouraged to use methods of solution of optimization problems.

