

В. Н. ИВАНОВ, Д. С. ПАРЧЕВСКАЯ

**О ВЕРОЯТНОСТНОМ ХАРАКТЕРЕ НАКОПЛЕНИЯ
И ДЕЙСТВИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ**

(Представлено академиком Е. М. Крепом 22 V 1974)

Результаты исследований по накоплению радионуклидов и влиянию инкорпорированных излучателей на морские организмы отличаются значительной вариабельностью и противоречивостью. Сложность физико-химического поведения радионуклидов в морской среде, значительные отличия в индивидуальной радиочувствительности гидробионтов делают необходимыми исследования накопления и действия радиоактивных веществ на больших выборках, позволяющих выявить вероятностный, статистический характер радиоэкологических процессов.

В настоящей работе была изучена вариабельность показателей, характеризующих адсорбционные свойства радионуклидов, накопления радиоактивности отдельными гидробионтами, выраженность радиобиологического эффекта. Показатели эти связаны друг с другом, так как уровни облучения, а следовательно и степень лучевого поражения гидробионтов, зависит от интенсивности накопления облучателя, в свою очередь процесс аккумуляции во многом определяется адсорбционными свойствами радионуклида.

Неоднородность поведения радионуклидов, растворенных в морской воде, можно характеризовать адсорбционными методами. На рис. 1 представлены гистограммы радиоактивности образцов фторопласта (1 см²), адсорбировавших радиоактивное железо из экспериментальных растворов, активностью 2 · 10⁻⁶ С/л, в течение 1 часа, и теоретические кривые плотности их распределений. Функция плотности вероятности накопления железа на образцах фторопласта через 3 часа после внесения радионуклида в раствор достаточно хорошо (α=0,05) описывается логарифмически-нормальной кривой (рис. 1)

$$n_i(x) = 541,57 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\lg x - 1,17}{0,128} \right)^2 \right\}, \quad (1)$$

которая дает возможность определить несмещенные параметры выборки, численные значения которых представлены в табл. 1, №№ 1, 2. Для вы-

Таблица 1

Несмещенные оценки параметров выборок*

№№ п. п.	Тип распределения	\bar{x}	s	v, %
1	Логарифмически-нормальный	15,03	4,43	29,47
2	Экспоненциальный	69,21	69,21	100
3	Нормальный	9,69	5,03	51,86
4	Экспоненциальный	14,54	14,54	100
5	Нормальный	9,76	1,6	16,4
6	Логарифмически-нормальный	15,55	4,76	30,64

Примечание. №№ 1-5 n=100, № 6 n=75.

борок образцов, адсорбировавших радиоактивное железо из растворов 15-суточного возраста (рис. 1), увеличивается дисперсия, коэффициент вариации приближается к 100%, плотность распределения может быть описана экспоненциальной кривой

$$n_i(x) = 57,79 \exp \left\{ -\frac{x}{69,214} \right\} \quad (2)$$

с несмещенными параметрами выборки (№№ 1, 2), представленными также в табл. 1. Величины коэффициентов адсорбции и вариабельность радиоактивности отдельных образцов адсорбентов в наших экспериментах сви-

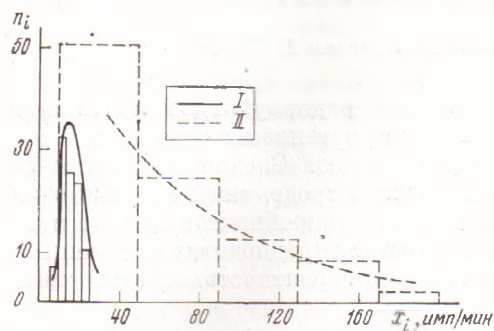


Рис. 1

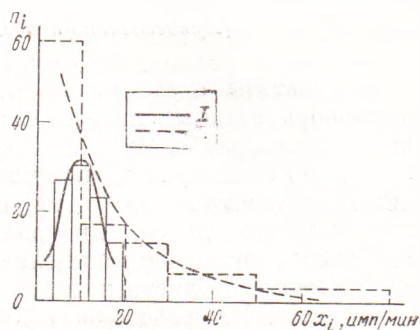


Рис. 2

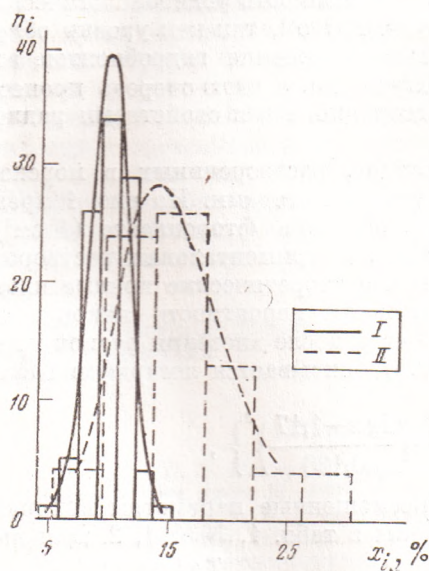


Рис. 3

Рис. 1. Число образцов фторопласта (n_i) различной радиоактивности (x_i) в зависимости от «возраста» раствора железа-59. I — раствору 3 часа, II — раствору 15 суток

Рис. 2. Число икринок (n_i) различной радиоактивности (x_i) в растворах иттрия-91 различного возраста. I — икринки из свежеприготовленных растворов, II — из 3-суточных растворов

Рис. 3. Число эмбрионов (n_i) с хромосомными нарушениями в клетках (x_i) в контроле (I) и в растворе иттрия-91 (II)

детельствуют об изменении адсорбционной активности радиоактивного железа и о том, что в 15-суточных растворах размеры гидролизных ассоциаций различаются гораздо больше, чем в свежеприготовленных.

Изменение адсорбционных свойств радионуклидов при внесении их в морскую воду из кислых сред характерно для многих многовалентных элементов⁽³⁾. Наиболее подробно исследованы радионуклиды иттрия. На примере иттрия-91 мы изучали влияние изменения адсорбционных свойств на распределение радионуклида по отдельным икринкам рыб.

Икра черноморской камбалы-калкана, используемая в экспериментах, — пелагическая, шаровидной формы, однородна по размерам, диамет-

ром 1 мм. Ранее показано, что иттрий-91 аккумулируется икринками преимущественно на оболочке (4).

На рис. 2 представлены теоретическое описание распределения и гистограммы радиоактивности отдельных икринок после инкубации в течение 1 суток в растворах иттрия-91 различного возраста. Радиоактивность экспериментальных растворов 10^{-4} С/л.

Выборка активности отдельных икринок, инкубированных в свежеприготовленных растворах иттрия-91 (рис. 2), достаточно хорошо ($\alpha=0,05$) согласуется с кривой Гаусса

$$n_i(x) = 31,73 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x-9,69}{5,03} \right)^2 \right\}. \quad (3)$$

Параметры этого уравнения приведены в табл. 1.

Плотность распределения совокупности данных, полученных из 3-суточных растворов (рис. 2), описывается экспоненциальным законом распределения

$$n_i(x) = 68,77 \exp \left\{ -\frac{x}{14,54} \right\}, \quad (4)$$

несмещенные параметры этой выборки даны в табл. 1.

Результаты опытов по накоплению радиоиттрия позволяют оценить неравномерность дозовых нагрузок на развивающиеся эмбрионы камбалы-калкана в экспериментальных условиях.

Параллельно с накоплением нами исследовалось действие радиоиттрия на хромосомный аппарат клеток зародышей. На рис. 3 представлены данные о количестве клеток с хромосомными аберрациями в тканях икринок, развивающихся в растворе иттрия-91.

Наблюдается достоверное ($P=0,95$) увеличение средних значений и дисперсий выборок хромосомных аберраций в икре камбалы-калкана, инкубировавшейся в растворе иттрия-91 с концентрацией 10^{-6} С/л по сравнению с контролем. Контроль достаточно близко описывается нормальной кривой (рис. 3) и уравнением

$$n_i(x) = 39,9 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x_i-9,76}{1,6} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

с параметрами, приведенными в табл. 1.

Распределение выборки из раствора иттрия-91 лучше согласуется с логарифмически-нормальной кривой (рис. 3)

$$n_i(x) = 11,09 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\lg x_i - 1,18}{0,132} \right)^2 \right\}. \quad (6)$$

Несмещенные параметры этого уравнения помещены в табл. 1.

Сравнивая приведенные плотности вероятности, необходимо отметить значительное увеличение возможности появления больших значений адсорбции накопления и действия радионуклидов в экспериментах, описываемых скошенными распределениями. Например, вероятность накопления радиоактивности икринками до величины $x_i=9,7$ и $15,5$ из свежеприготовленных растворов в 2,2 и 1,8 раза больше, чем при инкубации икринок из растворов иттрия 3-суточного возраста. Вероятности появления средних величин двух распределений (рис. 2) близки, однако это не может характеризовать процессы накопления радиоактивности из растворов разного возраста как сходные. Для величины $x_i=25$, например, вероятность появления отличается в 2,2 раза, а для $x_i=40$ более чем в тысячу.

Таким образом, результаты наших экспериментов свидетельствуют о важности вероятностного подхода к исследованию процессов адсорбции, накопления и действия радионуклидов в морской среде. В опытах по адсорбции и накоплению радиоактивных веществ такой подход к результатам исследований позволяет получать информацию о степени гетероген-

ности раствора радионуклида. Следует отметить, что с уменьшением размеров адсорбентов или объектов могут быть получены более подробные данные о величине и количестве гидролизных комплексов или агрегатов аккумулирующихся на поверхности образцов. Неравномерность накопления радионуклидов отдельными гидробионтами влияет на параметры, определяющие действие радиоактивных загрязнений. По-видимому, значительная противоречивость результатов опытов различных авторов по влиянию инкорпорированных радионуклидов на эмбриогенез рыб объясняется именно различным вероятностным характером накопления и действия радионуклидов, а следовательно и значительным разбросом дозовых нагрузок на икринки, развивающиеся в радиоактивных растворах.

В заключение следует отметить, что разнообразие функций плотности вероятностей, которыми аппроксимируются гистограммы экспериментальных данных, определяет методы нахождения несмещенных оценок средних величин выборок, их несмещенных доверительных интегралов, несмещенных оценок дисперсий и коэффициентов вариации и, что не менее важно, дает возможность правильно выбрать методы сравнения параметров выборок для корректных выводов.

Институт биологии южных морей
Академии наук УССР
Севастополь

Поступило
10 V 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ *J. Aitchison, J. A. C. Brown, The Lognormal Distribution with Special Reference to its Uses in Economics, Cambridge, 1957.* ² *H. Thoni, J. Am. Stat. Assoc., v. 64, № 362, 632 (1969).* ³ *Г. Г. Поликарпов, А. Я. Засенко, А. А. Любимов, Радиационная и химическая экология гидробионтов, Киев, 1970, стр. 5.* ⁴ *В. Н. Иванов, Морская радиоэкология. Киев, 1970, стр. 121.*