

УДК 577.391.632.118.3

А. Х. СПЭРРОУ – КЛАССИК РАДИОБИОЛОГИИ И РАДИОЭКОЛОГИИ XX ВЕКА (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

© 2014 г. Р. М. Алексахин*, С. А. Гераськин

Всероссийский НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Обнинск

DOI: 10.7868/S0869803114060034



Радиобиология и радиоэкология зародились в последние годы XIX—начале XX веков. В более чем столетней истории развития этих наук, как и в любой отрасли естествознания, были периоды бурного и замедленного роста. Пики развития радиобиологии и радиоэкологии были обусловлены объективными причинами. Первые годы зарождения этих наук были схожи с разработкой богатой руды — это время получения первых, уникальных знаний о закономерностях биологического действия нового, открытого В. Рентгеном в 1895 г., физического фактора — ионизирующего излучения, оценки роли природного фона ионизирующих излучений и закономерностей рассеяния естественных радионуклидов в природных средах.

Следующий плодотворный этап развития радиобиологии и радиоэкологии пришелся на 1960–1980-е годы. Применение атомных бомб в войне с Японией, массированные ядерные испытания, приведшие к глобальному радиоактивному загрязнению планеты, опасность начала ядерной войны обусловили необходимость изучения последствий массового применения ядерного оружия в медицинском, биологическом и экологическом

аспектах. В это время радиобиологические и радиоэкологические исследования были сосредоточены главным образом на предприятиях, связанных с производством ядерного оружия (Ок-Ридж, Хэнфорд, Саванна-Ривер в США, химкомбинат “Маяк” в Челябинской области на Южном Урале в СССР). На этих объектах имелись полигоны для натуральных наблюдений и условия для специальных экспериментов по изучению миграции радионуклидов и действия ионизирующих излучений на живые организмы в среде их обитания. К этим работам были привлечены крупные научно-исследовательские учреждения в странах, обладающих ядерным оружием.

В этот период были получены важнейшие фундаментальные результаты в области радиобиологии и радиоэкологии, на него пришелся расцвет творчества ряда крупных ученых-радиобиологов и радиоэкологов, к числу которых, несомненно, принадлежит Арнольд Хикс Спэрроу (A. H. Sparrow, 1914–1976). Он обогатил радиобиологию установлением основополагающих закономерностей действия ионизирующих излучений на живые организмы, а радиоэкологию — описанием особенностей действия ионизирующей радиации на популяции живых организмов, их сообщества и экосистемы.

А.Х. Спэрроу родился в 1914 г. в г. Саскатун в провинции Альберта (Канада), закончил биологическое отделение университета Саскатчевана, в 1941 г. получил степень Ph. D по цитологии и генетике в университете Макгилла. После нескольких лет исследовательской работы в Гарвардском университете он перешел в Брукхейвенскую национальную лабораторию США, где трудился до последних дней своей жизни. Хотя А.Х. Спэрроу изначально специализировался в области зоологии, изучая цитогенетику дрозофилы, в историю науки он вошел как выдающийся радиобиолог растений. В начале своей научной карьеры он обратил внимание на хромосомы растений как идеальный объект для экспериментальных исследований. Глубокое изучение различных аспектов структуры хромосом и их поведения послужило для А.Х. Спэрроу хорошей основой для последующего анализа действия на них ионизирующих излучений. Результаты его цитологических ис-

следований сыграли важную роль при выявлении основополагающих закономерностей биологического действия ионизирующего излучения. Цитогенетические исследования остаются надежным инструментом получения новых знаний и в современной радиобиологии и радиоэкологии. Достаточно вспомнить современные радиационно-эпидемиологические исследования, анализ формы дозовой зависимости в диапазоне малых доз, нормирование радиационного воздействия и др.

Уже первые эксперименты по облучению разных видов растений и животных, проведенные в конце XIX–начале XX веков, показали, что существуют огромные различия в чувствительности организмов к действию ионизирующего излучения. Значительные вариации радиорезистентности были обнаружены как при переходе от одного таксона к другому, так и внутри филогенетических групп. К началу 1960-х годов были получены данные о радиорезистентности представителей всех крупных таксонов живого мира и настоятельно ощущалась потребность в появлении обобщающих концепций. И такие концепции были созданы.

Результаты радиобиологических экспериментов были осмыслены и получили теоретическое обоснование в рамках теории мишени и принципа попадания, сформулированных в общем виде Ф. Дессауэром и Дж. Кроузером и принявших законченный вид в работах Н.В. Тимофеева-Ресовского с соавт. [1]. Эти принципы стали теоретической основой сравнительного изучения радиорезистентности живых организмов и, в сочетании с развитием методов дозиметрии ионизирующего излучения, превратили радиобиологию в одну из наиболее точных биологических дисциплин. Поэтому неудивительно, что уже в первых работах по радиационной таксономии [2, 3] исследователи связывали радиорезистентность организмов с размерами их генетического аппарата. Важнейший вклад в развитие этого направления принадлежит А.Х. Спэрроу. Именно в Брукхейвенской национальной лаборатории под его руководством была спланирована и реализована масштабная программа по экспериментальному изучению радиорезистентности и характеристик клеточного ядра широкого круга растительных объектов [4]. На основе обобщения собственных экспериментальных данных и результатов радиобиологических экспериментов других исследователей А.Х. Спэрроу выдвинул ряд обобщающих положений, имевших широкий резонанс в радиобиологии. Введение в работах А.Х. Спэрроу понятия радиотаксонов позволило существенно продвинуться в понимании взаимосвязи структурной организации генома и радиационной устойчивости клетки [5].

Особый интерес представлял вопрос о возможной роли параметров клеточного ядра в формировании дифференциальной радиорезистент-

ности видов в пределах одного радиотаксона, объединяющего организмы с близкой удельной надежностью генома. Среди эукариот наибольшим видовым разнообразием по устойчивости к действию ионизирующего излучения, а также степени изученности параметров клеточного ядра характеризуются высшие растения [6]. Исследования А.Х. Спэрроу по радиобиологии растений были весьма разноплановыми. Они касались морфоанатомических, физиологических и биохимических процессов, происходящих в облученных растениях. В поле его научных интересов входили радиационный мутагенез и канцерогенез у растений, хранение растениеводческой продукции после облучения.

После публикации в 1944–1954 гг. серии статей по радиационной цитогенетике [7–10] А.Х. Спэрроу возглавил проведение серии блестящих экспериментов по оценке зависимости радиочувствительности растений от параметров клеточного ядра и хромосом. На основании многолетних исследований радиорезистентности большого числа видов вегетирующих растений и обобщения литературных данных А.Х. Спэрроу пришел к выводу [11–13] о существовании значимой корреляции радиорезистентности с объемом интерфазных хромосом. Предложенный им подход впервые позволил дать количественный прогноз радиорезистентности, основанный только на параметрах клеточного ядра [14]. Полученные в [12] линейные регрессионные уравнения были использованы для предсказания радиорезистентности 190 видов высших растений. Экспериментальная проверка на 28 видах показала хорошее соответствие полученных в полевых опытах и рассчитанных по уравнениям результатов [15].

Широкую известность получили семинары, проводившиеся под руководством А.Х. Спэрроу (на одном из них посчастливилось присутствовать одному из авторов этой статьи – Р.А.). Они отличались демократизмом, активностью участников, широкой научной тематикой, охватывающей не только вопросы радиобиологии, но и биологии в целом. Труды Брукхейвенской национальной лаборатории по биологии пользовались большой популярностью у специалистов. Военная проблематика включала исследования А.Х. Спэрроу и его коллег по оценке воздействия радиоактивных выпадений на развитие и урожай широкого спектра сельскохозяйственных растений [16–19].

А.Х. Спэрроу как радиоэколог был одним из пионеров исследований в области действия ионизирующих излучений на природные сообщества живых организмов и экосистемы. Помимо наблюдений на полигонах в районах проведения ядерных испытаний, А.Х. Спэрроу организовал [4] серию крупномасштабных экспериментов по облучению природных и аграрных экологических систем, характерной чертой которых была строгая экологическая дозиметрия. Одним из

наиболее привлекательных объектов для проведения таких экспериментов являются лесные биогеоценозы. Повышенный интерес к оценке закономерностей действия ионизирующей радиации на лесные экосистемы связан с тем, что этот тип биогеоценозов характеризуется наличием существенно различающихся по радиорезистентности компонентов (в том числе весьма радиочувствительных), сложным дозовым полем, определяющим различие в дозах воздействия на разные компоненты леса, и другими специфическими чертами. Особое внимание при оценке радиационного воздействия на лесные экосистемы привлекли хвойные растения, в первую очередь сосновые леса, учитывая чувствительность к облучению и широкое распространение рода *Pinus* на земном шаре.

Высокая радиочувствительность сосны (и целом голосеменных) была обнаружена случайно. В 1951 г. в Брукхейвенской национальной лаборатории было сооружено гамма-поле, предназначенное для облучения растений (в первую очередь сельскохозяйственных), в частности, для получения радиационно-индуцированных мутантов. Облучение носило хронический многолетний характер (20 ч/сут). Через несколько лет было обнаружено пожелтение и отмирание хвои деревьев сосны, обрамлявших края гамма-поля. Было установлено, что наблюдаемые эффекты связаны с радиационным поражением деревьев. По существовавшим в то время представлениям, формирующимся на краях гамма-поля мощности доз облучения не должны были привести к лучевому поражению древесных растений. Эти работы послужили мощным стимулом для проведения исследований по радиочувствительности растений, а сосна, оказавшаяся одним из наиболее радиочувствительных высших растений, стала часто использоваться в экспериментальных радиоэкологических исследованиях. В настоящее время сосна включена в число референтных организмов, предназначенных для обеспечения научной базы радиационной защиты окружающей среды [20]. В современных методиках радиоэкологического мониторинга вокруг радиационно-опасных объектов, в первую очередь АЭС, сосна является обязательным объектом для оценки радиационного воздействия. Можно сказать, что сосна как экспериментальный объект в радиобиологии и радиоэкологии играет такую же роль, как мышь в биологии и дрозофила — в генетике.

В Брукхейвенской национальной лаборатории в смешанном сосново-лиственном лесу был установлен мощный источник γ -излучения (3.5×10^{14} Бк ^{137}Cs), который в хроническом многолетнем режиме производил облучение леса [4]. В дальнейшем радиоэкологические эксперименты с облучением леса были проведены в разных природно-климатических зонах — в Пуэрто-Рико, Франции, Канаде, США и СССР.

А.Х. Спэрроу был одним из основателей журнала “Радиационная ботаника” (“Radiation Botany”) и длительное время — с момента основания (1961 г.) до кончины — его главным редактором. Под его руководством журнал превратился в авторитетный источник информации по наиболее актуальным проблемам радиобиологии и радиоэкологии. В 1976 г. по инициативе А.Х. Спэрроу журнал был переименован и стал выходить под названием “Экологическая и экспериментальная ботаника” (“Environmental and Experimental Botany”).

В заключение необходимо сказать, что научное творчество А.Х. Спэрроу способствовало закладке фундамента радиобиологии и радиоэкологии как самостоятельных наук, дав в середине XX века мощный импульс для развития этой области знаний. И сегодня в учебниках по радиобиологии и радиоэкологии достойное место занимают ставшие классическими результаты его исследований (зависимость радиочувствительности от объема хромосом, радиотаксоны А.Х. Спэрроу, последовательность изменения структуры лесного биогеоценоза в зависимости от мощности дозы хронического облучения). Сегодня, спустя почти 40 лет после смерти А.Х. Спэрроу, его выдающиеся результаты остаются актуальными и часто цитируются в научной печати, монографиях и обзорах по различным проблемам радиобиологии и радиоэкологии.

А.Х. Спэрроу был ярким представителем американской школы радиоэкологии и радиобиологии, куда входили такие крупные ученые как Ю. Одум, Г.М. Вудвелл, С.И. Ауэрбах, Г.В. Блейлок и др., игравшие в тот период, наряду с радиобиологическими и радиоэкологическими школами СССР и европейских стран, ведущую роль в развитии этой области естествознания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев-Ресовский Н.В., Иванов В.И., Корогодин В.И. Применение принципа попадания в радиобиологии. М.: Атомиздат, 1968. 228 с.
2. Terzi M. Comparative analysis of inactivating efficiency of radiation of different organisms // Nature. 1963. V. 191. P. 461–463.
3. Kaplan H.S., Moses L.E. Biological complexity and radiosensitivity // Science. 1964. V. 145. P. 21–25.
4. Sparrow A.H. Research uses of the gamma field and related radiation facilities at Brookhaven National Laboratory // Radiat. Bot. 1966. V. 6. P. 377–405.
5. Sparrow A.H., Underbrink A.G., Sparrow R.C. Chromosomes and cellular radiosensitivity. I. The relationship of D_0 to chromosome volume and complexity in 79 different organisms // Radiat. Res. 1967. V. 32. P. 915–945.
6. Саранульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1983. 208 с.

7. Sparrow A.H. Relative X-ray sensitivity of metaphase and interphase chromosomes // *Nature*. 1948. V. 162. P. 651–652.
8. Sparrow A.H., Maldawer M. Differential rejoining as a factor in apparent sensitivity of chromosomes to X-ray breakage // *Proc. Nat. Acad. Sci. US*. 1950. V. 36. P. 636–643.
9. Sparrow A.H. Radiation sensitivity of cells during mitotic and meiotic cycles with emphasis on possible cytochemical changes // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1951. V. 51. P. 1508–1540.
10. Sparrow A.H., Moses M.J., Steele R. A cytological and cytochemical approach to an understanding of radiation damage in dividing cells // *Brit. J. Radiol.* 1952. V. 25. P. 182–188.
11. Sparrow A.H., Miksche J.P. Correlation of nuclear volume and DNA content with higher plant tolerance to chronic radiation // *Science*. 1961. V. 134. P. 282–283.
12. Sparrow A.H., Schairer L.A., Sparrow R.C. Relationship between nuclear volumes, chromosome numbers and relative radiosensitivities // *Science*. 1963. V. 141. P. 163–166.
13. Sparrow A.H., Schwemmer S.S. Correlations between nuclear characteristics, growth inhibition, and survival-curve parameters (LD_{50} , whole plant D_0 and D_q) for whole-plant acute gamma-irradiation of herbaceous species // *Int. J. Radiat. Biol.* 1974. V. 25. P. 565–581.
14. Sparrow A.H., Woodwell G.M. Prediction of the sensitivity of plants to chronic gamma irradiation // *Radiat. Botany*. 1962. V. 2. P. 9–26.
15. Sparrow A.H., Rogers A.F., Schwemmer S.S. Radiosensitivity studies with woody plants. I. Acute gamma irradiation survival data for 28 species and predictions for 190 species // *Radiat. Bot.* 1968. V. 8. P. 149–186.
16. Bottino P.J., Sparrow A.H. Comparison of the effects of simulated fallout decay and constant exposure-rate gamma-ray treatments on the survival and yield of wheat and oats // *Radiat. Bot.* 1971. V. 11. P. 405–410.
17. Sparrow A.H., Schwemmer S.S., Bottino P.J. The effects of external gamma radiation from radioactive fallout on plants with special reference to crop production // *Radiat. Bot.* 1971. V. 11. P. 85–118.
18. Bottino P.J., Sparrow A.H. The effects of exposure time and rate on the survival and yield of lettuce, barley and wheat // *Radiat. Bot.* 1971. V. 11. P. 147–152.
19. Sparrow A.H., Floyd B., Bottino P.J. Effects of simulated radioactive fallout buildup and decay on survival and yield of lettuce, maize, radish, squash and tomato // *Radiat. Bot.* 1970. V. 10. P. 445–455.
20. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // *Ann. ICRP*. 2009. V. 38. № 4–6. P. 1–242.

Поступила в редакцию
5.08.2014