

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИОХЕМОЭКОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ
(45-ЛЕТИЕ МОРСКОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ В ИНБЮМ НАН УКРАИНЫ)**

Представлен очерк по истории (1956 - 2001 гг.) и дан перечень перспективных радиохе-моэкологических направлений исследований ИнБЮМ НАН Украины (2000 - 2025 гг.).

Опирающееся на биогеохимические идеи В.И. Вернадского [1], плодотворное приоритетное направление по радиационной биогеоценологии [8], сформулированное и развитое Н.В. Тимофеевым-Ресовским еще в конце 1940-х - начале 1950-х годов в СССР (с учетом его также пионерских работ в первой половине XX века по применению мече-ных атомов и ионизирующих излучений в экспериментальных генетических исследова-ниях в Германии), оказало решающее влияние на формирование во второй половине XX столетия передового уровня радиоэкологии в СССР и СНГ, не уступавшего таковы-му в США и Западной Европе. Основанный в 1970 г. в Бельгии Международный Союз Радиоэкологии (МСР) включает в себя многочисленных членов МСР из СССР/СНГ, в том числе в руководящих органах МСР - в исполнительном комитете и совете управ-ляющих, персонально избираемых мировым сообществом голосованием бюллетенями.

Одной из многочисленных "почек", а затем "ветвей" могучего древа радиацион-ной биогеоценологии стала с 1956 г. морская радиоэкология на Севастопольской биоло-гической станции им. А.О. Ковалевского АН СССР (впоследствии Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского АН УССР/НАН Украины) в виде современного отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ [3, 4, 6, 7, 17]. Это направление с самого начала было поддержано директором СБС АН СССР/ИнБЮМ АН УССР чл.-корр. АН УССР В.А. Водяницким, ак. АН СССР Л.А. Зенкевичем, ак. АН СССР Е.М. Крепсом, чл.-корр. АН СССР В.Г. Богоровым, президентом АН УССР/НАНУ ак. НАНУ Б.Е. Патонем, Президиумом АН УССР/НАНУ и Бюро Отделения Общей Биологии АН УССР/НАНУ, Научным Советом по радиобиологии АН УССР, Научным Советом по проблемам радиобиологии АН СССР/РАН, Научным Советом по гидробиологии, ихтио-логии и использованию водных ресурсов АН СССР, Московским государственным уни-верситетом им. М.В. Ломоносова и, в первую очередь, моими учителями - профессора-ми В.С. Елпатьевским, Б.Н. Тарусовым, Е.Б. Бурлаковой, И.Н. Верховской, Н.В. и Е.А. Тимофеевыми-Ресовскими.

Полагаю уместным и исторически небезынтересным привести цитаты (в ориги-нале, без перевода) из капитальных исторических сводок США "Radioactivity and Health: A History" [19] и "Radioecology: Nuclear Energy and the Environment" [20], прямо касаю-щихся наших работ 50-х - начала 60-х годов в Севастополе: "E. WORK ABROAD. The field of radioecology was primarily a U.S. concern during the early work at Hanford and Oak Ridge. With development of reactors very early postwar in the United Kingdom and the USSR, interest in environmental contamination developed quickly. Russian work went early to problems of the aquatic environment. Indeed, enough work had been done in the USSR to provide about sixteen pages of Russian titles in the fifties and early sixties in the very useful book by Polikarpov [12]. This book is also an excellent review of work in other countries, especially the United Kingdom and United States (approximately eighteen pages of references to the non-Russian literature), but including Canada, Finland, France, Germany, Italy, Japan, Monaco, and Sweden as well." [19, p. 784].

"Since the early 1940s, growth of radiation ecology has paralleled the development of nuclear technology in the world, with its greatest advancements being in the U.S. and the U.S.S.R. Very significant contributions have also been made by investigators in Finland, France, Italy, Japan, and the U.K., as well as by individuals associated with the International Atomic Energy Agency (IAEA), Austria. Its development is woven within a web of expectations, frustrations, and accomplishments. To the historian, it is associated with places

such as Sevastopol (USSR), Helsinki (Finland), Cadarache (France), Eniwetak (Atoll), Anaktuvuk Pass and Amchitka Island (Alaska), Monaco, and Oak Ridge (Tennessee); ..." [20].

В связи со 130-летним юбилеем ИнБЮМ НАН Украины ниже предлагаются мои соображения о дальнейшем развитии радиоэкологии в XXI веке, III тысячелетии.

Для *Homo sapiens* определенно наступает время для итогов и обобщений, а также для поиска и нахождения приоритетов в этот решающий (он же и критический) момент в нашей эволюции. Как биологический вид, мы "добились" нарушения равновесия с нашей планетой и, кроме того, находимся под угрозой потенциального воздействия разбалансированных представлений, которые могут доминировать среди растущего числа ядерных держав. Для радиоэкологов - это, несомненно, время для объединения нашего предмета исследования с соседними областями науки. В связи с отмеченным выше, хотелось бы привлечь внимание коллег в области "Биосфера - Радиоактивность - Человек" к следующим самым основным научным аспектам, которые, с моей точки зрения, наиболее желательно поощрить и поддерживать в будущем.

Прежде всего, важно продолжить развитие одной из чисто радиоэкологических работ - общей концептуальной модели действия долгосрочного (хронического) облучения ионизирующей радиацией во всем диапазоне существующих и возможных мощностей доз на все уровни организации живой природы (организмы, популяции, сообщества, экосистемы, биосферу), которая основана на учете изменений в наиболее радиочувствительных структурах и функциях живых организмов и надорганизменных систем.

Модель, о которой идет речь, была предложена автором этой статьи в 1977 г. в Международной Лаборатории морской радиоактивности МАГАТЭ в Монако и развита впоследствии [13, 14, 17]. Она включает в себя "зоны мощностей доз ионизирующих излучений" в окружающей среде и наблюдаемую чувствительность к ним на организменном и экосистемном уровнях. Эта модель содержит следующие зоны:

- (a) "Зону неопределенности" (ниже наименьшего уровня естественного фона ионизирующих излучений),
- (b) "Зону радиационного благополучия" (диапазон уровней естественного фона ионизирующей радиации),
- (c) "Зону физиологической маскировки" (0.005-0.1 Гр/год или Зв/год),
- (d) "Зону экологической маскировки" (0.1-0.4 Гр/год или Зв/год),
- (e) "Зону поражения сообществ и экосистем" ($>>0.4$ Гр/год или Зв/год),
- (f) "Радиационный порог гибели Биосферы" ($>>$ МГр/год или МЗв/год).

Можно ожидать, что эта система, обсуждаемая с 1977 г. по настоящее время, должна и в ближайшие годы продолжать детализироваться и развиваться последовательно и систематически силами квалифицированных и заинтересованных специалистов вплоть до формирования теоретического и практического детального руководства. При этом важно учитывать двуединую "радиоэкологическую емкость": "в отношении потоков радионуклидов в экосистемах" и "в отношении действия ионизирующих излучений на экосистемы". Ожидается также, что названное руководство максимально охватит данные по радиочувствительным видам (и, прежде всего, среди редких и исчезающих видов), их популяций, сообществ и экосистем. Оно может стать настольной книгой-справочником для исследователей, а также для лиц, принимающих решения, и для широкой общественности.

Далее, исключительно важно рассмотреть комплексную проблему объединения радиоэкологии и хемозкологии (или шире - молисмологии, как науки о загрязнении), а именно путем сравнительной эквидозиметрической оценки (на основе Гр/год и Зв/год) наиболее чувствительных экологических эффектов, вызываемых физическими (включая ионизирующие излучения), химическими и биологическими загрязнениями. Для этого необходимо распространить вышеупомянутую модель для охвата исследований эффектов, вызываемых всеми видами загрязнителей, с тем, чтобы разработать радиохемозкологическую (или значительно шире - радиомолисмологическую) модель.

В марте 2000 г. в Брюсселе на совете управляющих МСР было решено организовать целевую комиссию 'AROC' ('Application of Radioecology to Other Comtaminants') под моим кураторством [16]. Из разных стран от членов МСР поступают предложения

об участии в этой комиссии. В 1998 г. были начаты совместные, плодотворные обсуждения в этой области между сотрудниками Национального Института радиологических наук (НИРН) в Японии [10] и ИнБЮМ НАНУ [5, 14]. Так, путем сопоставления данных по экологическим воздействиям токсических веществ в водных системах из НИРН с прототипом радиохемозкологической модели из ИнБЮМ был получен следующий пример верификации на совместимость эквидозиметрических значений и модели (здесь понятие "эквидозиметрические" означает одинаковую способность различных факторов элиминировать число биологических видов):

Эквидозиметрические данные [10]:

Ионизирующая радиация, Гр	500
Ультрафиолет, кэрг/мм ²	50
Кислотность, рН	4
Cu ²⁺ , мкмоль/л	100
Gd ³⁺ , мкмоль/л	300
Mn ²⁺ , мкмоль/л	10000

Очевидно, что экологический Грей-эквивалент действия ионов металлов - Гр/(мкмоль/л) - составляет величины:

Гр/(мкмоль/л)	
Ионизирующая радиация/Mn ²⁺	0.05
Ионизирующая радиация/Gd ³⁺	1.70
Ионизирующая радиация/Cu ²⁺	5.00

При наличии такой сравнительной информации мы можем гораздо объективнее смотреть на реальные проблемы в окружающей среде. Например, если мы хотим объективно оценить влияние загрязнения Черного моря на состояние биологических популяций и сообществ в нем, то наш подход ясно показывает (табл. 1), что дозовые нагрузки ионизирующих излучений на морские организмы приходится на "Зону радиационного благополучия", тогда как химические загрязнения и другие виды антропогенной "деятельности" вызывают настолько тяжелые последствия, что Черное море относится к категории "Зоны поражения экосистем" (включая падение численности, уменьшение числа видов, обеднение сообществ, деградацию экосистем) под действием хронически действующих химических доз, которые эквивалентны или даже превышают 20 - 1000 Гр/год [15]. Сходные заключения приложимы к большинству эстуариев и к шельфу большей части Мирового океана.

В связи с этим можно предположить дальнейшее развитие в XXI веке детального обоснования "эквивалентного подхода" как в экспериментах, так и в концептуальном моделировании с целью сравнения ядерных и неядерных загрязнений по их действию на экосистемы. Можно также ожидать работу над созданием сравнительной теории экологической эквивалентности всех видов повреждающих веществ и их воздействий (электромагнитных, механических, химических и т. д.).

Наконец, давно возникла абсолютная необходимость заменить в будущем отживший (но все еще существующий) "антропоцентрический" подход в радиационной защите на "экоцентрическую радиационную защиту". Ядерная энергия и ядерное оружие нуждаются в радиоэкологии, а последняя в наше время все более и более нуждается в экологической этике [11]. Неизбежное развитие и дальнейшее распространение источников ядерной энергии и ядерного оружия в современном негармоничном состоянии государств в мире увеличивает вероятность ядерных выбросов в окружающую среду и, следовательно, требует развивать область радиоэкологии (низких и высоких мощностей доз, долгосрочных и промежуточных экспозиций). Радиоэкология будет, несомненно, процветать в этом новом тысячелетии. Однако, как и другие науки об окружающей среде, она не должна рассматриваться в качестве служанки той эгоцентрической части человечества, которая не обращает внимания на прогноз по выживанию *Homo sapiens* в условиях усиливающегося конфликта между человечеством и биосферой. Радиоэкология должна следовать принципам экологической этики, предложенным Международным Союзом Экоэтики [9], целью которого служит обеспечение гармоничного с природой и устойчивого развития человечества в обозримом будущем.

Таблица 1 Ущерб биоценозам и популяциям в Черном море, причиненный ядерными и неядерными загрязнениями [5, 15]

Table 1 Damage to biocenosis and populations in the Black Sea caused by nuclear and non-nuclear pollution [5, 15]

Оценка экологического ущерба за период 1960-е – 1990-е годы: % хронически погибших биоценозов и популяций [22]	Летальные хронические дозы ионизирующей радиации, Гр [21]	Эквивалентные летальные хронические дозы неядерных загрязнений, Гр/год, А	Мощности доз от ядерных источников в морской среде, Гр/год, [2, 6, 18] В	А/В
Биоценоз <i>Cystoseira barbata</i>: уничтожено > 99 % (эвтрофикацией и загрязнением)	Для Thallophyta (включая водоросли)		< 0.005	10 ⁴ -10 ⁷
	180 - 72000	180 - 72000		
Биоценоз <i>Phyllophora</i>: уничтожено 97 % (эвтрофикацией, загрязнением и мутностью)	Для Thallophyta (включая водоросли)		< 0.005	10 ⁴ -10 ⁷
	180 - 72000	180 - 72000		
Популяция <i>Ostrea edulis</i>: уничтожено > 95 % (из-за мутности)	Для Mollusca		< 0.007	10 ⁵ -10 ⁶
	600 - 6000	600 - 6000		
Популяция <i>Mytilus galloprovincialis</i>: уничтожено 60 % (эвтрофикацией)	Для Mollusca		< 0.007	10 ⁵ -10 ⁶
	600 - 6000	600 - 6000		
Популяции Crustacea (крабы - 14 видов, креветки - > 20 видов): уничтожено 50 - 70 и 60 % (переловом – крабы, гипоксией – креветки)	Для Crustacea		< 0.007	10 ⁴ -10 ⁵
	90 - 3600	90 - 3600		
Популяции Gobiidae (20 видов): уничтожено 80 % (гипоксией и разрушением мест их размножения)	Для Pisces		< 0.007	10 ⁴ -10 ⁶
	42 - 360	42 - 360		
Популяции Odontoceti (3 вида дельфинов, подвиды-эндемики): уничтожено 90-95 % (интоксикацией, загрязнением и при рыболовстве)	Для Mammalia		< 0.006	10 ³ -10 ⁴
	12 - 90	12 - 90		
Популяция <i>Monachus monachus</i> почти на 100 % погибла (из-за отсутствия мест для размножения и вследствие интоксикации)	Для Mammalia		< 0.006	10 ³ -10 ⁴
	12 - 90	12 - 90		

В текущем году начинает издаваться новый международный журнал "Ethics in Science and Environmental Politics" (Founders: O. Kinne & G. G. Polikarpov) в качестве органа Международного Союза Экоэтики.

В заключение, исходя из изложенного выше и опираясь на выполненные работы Отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ НАН Украины в области морской радиоэкологии и радиохемозоологии водных организмов, представляется возможным дать итоговый хронологический перечень основных достижений этого Отдела с 1956 по 2001 гг., а также привести перспективные направления его исследований на 2000 - 2025 гг. (рис. 1), принятые и утвержденные на общем собрании Отдела в 2000 г.



Рисунок Схема перспективных направлений исследований по радиохемэкологии в ИнБЮМ НАНУ в 2000 – 2005 гг.

Figure Scheme of main research directions on the radiochemoecology at the IBSS (2000 – 2025)

Хронологический перечень разработок конкретных научных направлений и формирования новых видов исследовательских работ в Отделе РХБ ИнБЮМ им. А. О. Ковалевского НАН Украины (в 1956 - 2001 гг.)

1. Морская радиоэкология (накопление радионуклидов морскими организмами, миграция радиоактивных веществ в морских экосистемах и биологическое действие ионизирующих излучений на гидробионты) - с 1956 г.
2. Морская динамическая радиохемозэкология - с 1960-х и, особенно, с 1970-х годов;
3. Радиационная и химическая цитогенетика и популяционная генетика водных организмов - с конца 1960-х годов;
4. Концептуальная модель хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений во всем их диапазоне на всех уровнях организации жизни (организменном, популяционном, биоценоотическом и биосферном) - с 1977 г.;
5. Хемозэкологические исследования сероводородной толщи – с 1984 г.;

6. Изучение радиозокологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС - с начала мая 1986 г.;
 7. Обнаружение метановых сипов на шельфе в сероводородной зоне Черного моря и изучение их экологической роли - с апреля 1989 г.;
 8. Развитие радиотрассерных технологий для изучения динамических процессов в морских экосистемах - с начала 1980-х годов;
 9. Формирование универсального экоеквидозиметрического подхода к оценке хронического воздействия на экосистемы всех типов повреждающих факторов (физической, химической, биологической природы) в виде величин мощностей доз ионизирующих излучений, Грей/год - в 1998 г. - и включение Международным союзом радиозоологии предложенного нами принципа экоеквидозиметрии в деятельность новой Целевой комиссии 'AROC' (Application of Radioecology to Other Contaminants) - в 2000 г.
 10. Участие в формировании и функционировании Международного союза экоэтики - с 1996 г. - и его журнала "Ethics in Science and Environmental Politics" - с 2000 г.
-
1. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. 1922-1932.- М.: Изд-во АН СССР, 1940.- 249 с.
 2. Перцов Л. А. Биологические аспекты радиоактивного загрязнения моря. - М.: Атомиздат, 1978. - 160 с.
 3. Поликарпов Г. Г. Радиоактивные изотопы и ионизирующие излучения в морской биологии // Тр. Севаст. биол. станции АН СССР. - 1960. - 13. - С. 275 - 292.
 4. Поликарпов Г. Г. Радиозоология морских организмов. - М.: Атомиздат, 1964. - 295 с.
 5. Поликарпов Г. Г. Морская радиозоология в Академиях наук России и Украины // Биология моря. - 1999. - 25. - № 6. - С. 475 - 479.
 6. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохемотропология. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 176 с.
 7. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Кулебакина Л. Г. и др. Исследования в области радиационной и химической биологии в СБС АН СССР ИнБЮМ НАНУ (1956-1994) // Морские Биологические Исследования. 100-летию юбилею со дня рождения Владимира Алексеевича Водяницкого посвящается. - Севастополь: НАН Украины, ИнБЮМ НАН Украины, 1994. - С. 183 - 212.
 8. Тимофеев-Ресовский Н. В. Применение излучений и излучателей в экспериментальной биогеоценологии // Ботанический журн.. - 1957. - 42, № 2. - С. 161 - 194.
 9. Eco-Ethics International Union. Humanity Can Survive Only with a New Concept of Ethics: Eco-Ethics.- Inter-Research, 1998. - 4 p.
 10. Fuma S., Takeda H., Miyamoto K. et al. Ecological effects of radiation and other environmental stress on aquatic microcosm // Comparative Evaluation of Environmental Toxicants - Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies. International Workshop on Comparative Evaluation of Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies, Chiba, January 8-30, 1998: Proc.- Chiba. - 1998. - P. 131 - 144.
 11. Kinne O. Editorial. Ethics and eco-ethics // Mar. Ecol. Prog. Ser. - 1997. - 153. - P.1 - 3.
 12. Polikarpov G.G. Radioecology of aquatic organisms.- Amsterdam: North-Holland Publ. Co., New York: Reinhold Book Division, 1966. - 314 p.
 13. Polikarpov G. G. Effects of ionizing radiation upon aquatic organisms (Chronic irradiation) // Atti della Giornata sul Tema 'Alcuni Aspetti di Radioecologia'. XX Congresso Nazionale, Associazione Italiana di Fisica Sanitaria e Protezione contro le Radiazioni, Bologna, 1977. - Parma Poligrafici, 1978. - P. 25 - 46.
 14. Polikarpov G. G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems in all possible dose rates of ionising radiation in the environment / RADOC 96- 97, Norwich/Lowestoft, 8-11 April, 1997 // Radiation Protection Dosimetry. - 1998. - 75. - P. 181 - 185.
 15. Polikarpov G. G. Effects of nuclear and non-nuclear pollutants on marine ecosystems // Marine Pollution (Monaco, 5-9 October 1998). - IAEA- TECDOC-1094. IAEA-SM-354/22. - International Atomic Energy Agency, - 1999. - P. 38 - 43.
 16. Polikarpov G.G. Application of radioecology to other contaminants - AROC // International Union of Radioecology.- Newsletter. - 2000. - 35. - P. 3.
 17. Polikarpov G. G. The future of radioecology: in partnership with chemo-ecology and eco-ethics // Journal of Environmental Radioactivity. - 2001. - 53. - P. 5 - 8.

18. *Polikarpov G. G., Zaitsev Y. P., Zats V. I. Radchenko L.A.* Pollution of the Black Sea (Levels and sources) // Ecological problems and economical prospects: Black Sea Symp. - Istanbul: Black Sea Foundation for Education, Culture and Protection of Nature, 1994. - P. 15 - 25.
19. *Stannard J. N.* Radioactivity and health: a history.- DOE/RL/01830-T59 (DE88013791), Pacific Northwest Laboratory, Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle Memorial Institute, 1988. - 1963 p.
20. *Whicker W. F., Schultz V.* Radioecology: nuclear energy and the environment. - Boca Raton, Florida: CRC Press, 1982. - 1. - 212 p.
21. *Woodhead D.S.* Dosimetry and the assessment of environmental effects of radiation exposure // Radioecology after Chernobyl. - Biogeochemical pathways of artificial radionuclides, SCOPE50, 1993. - P. 291 - 306.
22. *Zaitsev Y., Mamaev V.* Marine biological diversity in the Black Sea. A study of change and decline. - New York: United Nations Publications, 1997. - 208 p.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 20.05.2001

G. G. POLIKARPOV

**PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF RADIOCHEMOECOLOGY IN XXI CENTURY
(45TH ANNIVERSARY OF MARINE RADIOECOLOGY AT THE A.O. KOVALEVSKY IBSS)**

Summary

An outline is presented on a history (1956 - 2001) and on proposed perspective research directions of radiochemoecology at the IBSS (2000 - 2025).