

Э.И. СЛЕПЯН, В.И. ЛЕБЕДЕВ, А.И. ЕПИХИН

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: ОБОСНОВАНИЕ, СИСТЕМА, ПРОБЛЕМЫ

Атомная (ядерная) энергетика (в первую очередь, атомные станции с энергетическими реакторами различных типов) — неисчерпающийся источник энергии, использование которого — важнейшее условие существования и прогресса человечества. Вместе с тем с самого начала возникновения как самостоятельной и особой отрасли человеческой деятельности атомная (ядерная) энергетика приобрела геополитическое и в целом политическое значение [34, 38, 60, 70, 110, 111], связанное, во-первых, с безграничными возможностями ядерного оружия и, следовательно, с потенциальными следствиями его применения [20, 109] и обусловленное, во-вторых, преимуществами, приобретаемыми государствами в результате деятельности атомноэнергетических (ядерноэнергетических) предприятий, эксплуатируемых с минимизированным и предотвращаемым риском [6, 11–14, 18, 21, 40, 41, 44, 54, 57, 59, 63]. Одним из итогов перехода к использованию атомной (ядерной) энергетики было осознание необходимости обоснования принципиально нового мышления и мировоззрения — мышления и мировоззрения глобального и в том числе биосферософского [82], основывающегося не только на общечеловеческой, политической и социальной культуре и духовности, но и на эколо-

гической культуре и экологической этике. Приобщение к новым мышлению и мировоззрению — действенное условие психологических предпосылок культуры безопасности [45], крайне важной для практики атомной (ядерной) энергетики.

Возобновимость и возможности поддержания деятельности и постоянного технического и технологического совершенствования реакторов безграничны. Пример усовершенствованных реакторов будущего, характеризующихся повышенной безопасностью [18, 55] — МКЭР-800, МКЭР-1000, ВВЭР-640. Следует отметить, что и возможное противопоставление атомной (ядерной) энергетике — управляемый термоядерный синтез [30], также имеющий ядерно-физическую природу. Мера опасности предприятий атомной (ядерной) энергетики по сравнению с мерой опасности предприятий энергетики, работающих на использовании каустобиолитов (а также торфа и древесины) — органических и биоорганических энергоносителей — невозобновимых природных ресурсов, значительно меньшая. Органические и биоорганические энергоносители — депо ионов тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, радионуклидов в экологически значимых количествах, высвобождающих-

ся при хранении, термолизе, пиролизе, переработке [1, 16, 25, 31, 39, 50, 66, 68, 69]. Атомный (ядерный) и каустобиолитный топливно-энергетические циклы, следовательно, могут быть и должны быть энергетически, экономически и экологически детально сопоставимы, а также сравнимы в аспекте здравоохранения [25–38]. В технологических отходах предприятий атомной энергетики содержание наиболее патогенных и экологически опасных загрязнителей, в первую очередь, ионов тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов и радионуклидов много меньше, чем в технологических отходах энергетических предприятий, использующих органическое горючее (в особенности уголь и нефть). Опасность предприятий с ядерными реакторами безусловна лишь в условиях аварий и катастроф, возникновение которых может быть не только минимизировано, но и предотвращено техническими и технологическими решениями, повышением надежности и устойчивости существующих и применяемых апробированных барьеров безопасности и обоснованием и созданием барьеров безопасности новых категорий [12]. Один из таких барьеров прежде всего — барьер экологический — локальный инженерно-мелиоративный биогеохимический и по своей сущности экологический барьер [92], имеющий значение амфильтерального экотона, исключающего возможность проникновения повреждающих агентов, например с территории размещения атомных электрических станций в окружающее их пространство и вместе с тем проникновения в пределы территории атомноэнергетических предприятий повреждающих агентов извне. Экотон естественного происхождения с таким значением — водноназемный гидравлически толерантный [89]. Экотон, искусственно создаваемый как особый дополнительный локализующий барьер безопасности, как экологический барьер, — экологическая система.

Необходимое условие прогресса атомной (ядерной) энергетики — обоснование экологической концепции [90], характеризующей атомную (ядерную) энергетику как особый энерго-промышленный цикл, как самостоятельную отрасль человеческой деятельности, как созданное мыслью искусственное составляющее биосферы. Существенность именно такого рассмотрения, такой оценки атомной (ядерной) энергетики следует из результатов анализа биосферных следствий функционирования ее естественных природных аналогов (а во многих отношениях, в частности, ядерно-физических) и гомологов. Их примеры — феномен Окло

(Oklo), феномены, связанные с возникновением геохимических эпох кумуляции радионуклидов и с их органическим биотическим перераспределением, с радиогеологической пространственной гетерогенностью в том числе зональностью биосферы, и т.д. [23, 28, 33, 37, 52, 64, 65, 72, 75, 76, 93].

Гносеологическая основа экологической концепции развития атомной (ядерной) энергетики — системность, системологическое построение (поскольку ядерно-физические, ядерно-химические и, в целом, атомные экологические, энергетические и индустриальные явления и их закономерности — системы *sui generis*).

Основные целесообразные принципы собственно экологической концепции развития атомной энергетики, имеющие и общее эвристическое значение:

1. Принцип триады экологического анализа [источники атомной (ядерной) энергии, атомную (ядерную) энергетику, атомную промышленность, продукцию атомной промышленности и их значение для биосферы в историческом прошлом, настоящем и будущем необходимо анализировать в зависимости и вне зависимости от деятельности человека на основе принципа аналитической триады [78, 81], объединяющей в целостную преемственную и последовательную цепь восстановление событий прошлого — палеореконструкции, оценки осуществляющегося — актуализм и предвидение возможного наступающего — прогнозирование, причем следование упомянутому принципу (которому вполне оправдано придать смысл особой научной парадигмы) позволяет устанавливать тренды, направления возможных преобразований в биосфере, происходящих в экосистемах разных размерных категорий, в связи с чем следует подчеркнуть, что экосистемные преобразования — реальный исторический феномен в эволюции биосферы [74] и вполне достаточны основания выявлять их закономерности с учетом требований аналитической триады, в частности триады экологического анализа — цепи, объединяющей палео-экологические реконструкции, экологический актуализм и экологическое прогнозирование];

2. Принцип анализа, учета и управления потенциальными реляционными экологическими зависимостями и связями [в частности, зависимостями и связями природных естественных ядерно-физических и ядерно-химических процессов и ядерно-физических и ядерно-химических процессов, обусловленных деятельностью человека, и собственно биологических и экологический процессов и явлений

(с возможностью возникновения их комплементарности при совпадении осуществления в пространстве и во времени);

3. Принцип установления экосистемного эффекта воздействий [отражающий проявление воздействия ядерно-физических и ядерно-химических процессов на абиотические, биотические и биокосные составляющие экосистем и экосистемы в целом и проявление ответных реакций абиотических, биотических и биокосных составляющих экосистем и экосистем в целом на воздействие ядерно-физических и ядерно-химических процессов (с учетом возможности осуществления воздействия в соответствии с определенной последовательностью, алгоритмом и осуществления ответной реакции на воздействие в соответствии с закономерностями цепных и цепных ветвящихся процессов)];

4. Принцип минимизации негативных следствий [предусматривающий возможность и необходимость предотвращения экологических нарушений, их диагностику в случае возникновения и пространственную локализацию и ликвидацию на основе создания и использования локальных систем биоэкологического контроля, локальных систем экологической защиты и локальных систем управления экоресурсстворогенезом [43, 51, 84, 87, 88, 91, 92]].

Следует подчеркнуть, что деятельность, осуществляемая при реализации каждого из принципов, включает в себя и мероприятия в области здравоохранения, а также гигиены животных, ветеринарии и защиты растений.

Свидетельства оправданности и обоснованности учета и применения избранных принципов многоаспектны.

Первое — взаимоотношения объектов, предприятий атомной (ядерной) энергетики как рукотворного составляющего биосфера и биосферы на ее меньших или больших пространствах [3, 8–10, 17, 53, 56, 77, 92, 101, 102, 104] сложны и различны по направленности, интенсивности и экстенсивности. Эффект в экосистемах может быть следствием воздействия ионизирующей и неионизирующей радиации, изменений градиентов электромагнитных полей, термических полей, количественного и качественного химического состава физических сред обитания [т. е. оказаться результатом дисрадиации, дисмагнетизма, дисэлектрии, дистермии и дисхемии, обусловленных деятельностью человека в области атомной (ядерной) энергетики]. Существенно, что причина нарушения химического состава физических сред обитания, в частности их контаминация ионами тяжелых металлов, — не только наличие

последних в газофазных, жидкофазных и твердофазных составляющих выбросов и сбросов, но и коррозия металлов и сплавов [67].

Второе — среды обитания (приземный слой атмосферного воздуха, почвенный покров, водные массы, донноосадочный покров, скальные породы, однолетние и многолетние растения в растительном покрове) — системы, характеризующиеся в пространстве и во времени распределенными параметрами, одни из важнейших среди которых — количественные и качественные показатели изотопии, содержания и соотношения радионуклидов с учетом их состояния в водном растворе [существенного и для флотации [15]], а также показатели геоэлектрики, магнетизма, термики, локальных отличий геохимических и биогеохимических циклов, обусловленные, в частности, эффектом магнитных аномалий, источников геотермальной энергии, геохимических провинций, ореолов рассеяния, флюидных потоков, активных радиолитических геохимических процессов и т. д. [22, 23, 36, 65, 94, 99].

Третье — радиационная активность и радиационная гетерогенность физических сред обитания в трехмерном пространстве биосфера, включая входящий в ее структуру атмосферный воздушный бассейн, как и гетерогенность трехмерного пространства биосфера по содержанию ионов тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов, — в определенном отношении следствие космогенных выпадений (выпадений космической пыли, метеорного вещества), имеющих значение не только для земных, но и для космических биологических и экологических эффектов [24, 32, 95].

Четвертое — в пространстве экологических систем осуществляются миграция, перенос (в том числе на основе механизмов диффузии) радионуклидов, ионов тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, в целом любых химических поллютантов, проникновение которых в окружающую среду как обусловлено человеческой деятельностью (в частности деятельностью в области атомной энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом), так и не обусловлено ею, происходит при природных явлениях, в том числе при стихийных бедствиях — лесных пожарах, вулканических извержениях, землетрясениях и т. д. [крайне важно в связи с этим, что живое вещество и любая физическая среда обитания характеризуются не только техногенной, но и собственной радиоактивностью естественного происхождения, в том числе зависимой от биологи-

ческого фракционирования изотопов [4, 7, 10, 27, 28, 33, 35, 37, 46, 49, 52, 72, 73, 98].

Пятое — природное рассеяние радионуклидов и радиоактивный фон, как и природные электромагнитные поля, термические поля, а также рассеяние вне зависимости от деятельности человека ионов тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов, имеющих значение химических трансформеров [79, 80], — действенные участники естественной органической эволюции, ценогенеза и экосистемогенеза, процесса естественного становления и преобразования биосфера в целом [следует в связи с этим подчеркнуть, что возникновение упомянутых физических полей и рассеяние ионов тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов — биологически и экологически важнейшие следствия деятельности предприятий атомной (ядерной) энергетики и атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом, эффект которых в онтогенезе и жизненном цикле организмов, в процессе функционирования популяций и сообществ может быть отдаленным [29, 47, 53, 62]].

Шестое — физические среды обитания и в определенной мере организмы характеризуются способностью [96, 97] к самоочищению от радионуклидов и к химическому самоочищению (основанному на различных молекулярных механизмах — ферментолизе, ацидолизе, окислении, деалкилировании, дегалогенировании, конъюгации, полимеризации с приобретением водонерастворимости, хемосорбции, адгезии, связанной с сорбией и адгезией седиментации и т.д.).

Седьмое — физические среды обитания, организмы, популяции, ценозы, трофодинамические цепи и экосистемы разных категорий, подвергающиеся физическому и химическому повреждающему воздействию, после прекращения повреждающего воздействия способны к восстановлению, соответственно к реконвалесценции, популяционной репродукции, ценореставрогенезу и экореставрогенезу, возможность которых предопределена [83] надежностью и устойчивостью биологической организации и сохранением в нарушаемом и нарушенном пространстве биосферы ее экореставрационных ресурсов [86].

Объективное условие системности экологической концепции функционирования и развития атомной (ядерной) энергетики — ее обоснование и разработка на основе дифференциального и вместе с тем сочетанного анализа самостоятельных и в то же время взаимозависимых блоков, имеющих гносеологическое на-

учное, техническое и технологическое содержание и в совокупности представляющих собой определенную целостность. Причина необходимости разграничения и в то же время объединения разграниченных познавательных блоков — сложность, многокомпонентность и системность природной среды, сложность, многокомпонентность и системность атомных и ядерных феноменов, сложность, многокомпонентность и системность электроэнергетических, теплоэнергетических и в целом энергетических процессов, явлений и циклов, сложность, многокомпонентность и системный характер энергетических предприятий (в том числе и атомных электрических станций), сложность, многокомпонентность и системность атомной промышленности и ее продукции, а также транспорта с ядерным топливом.

Блок первый концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих сущность взаимных связей и взаимных зависимостей предприятий атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом (в том числе занимаемые ими пространства, в частности и пространства захоронения отходов) и включающих их в свою структуру пространств геосфер [атмосфера, радиационных поясов, гидросфера, пелосфера, педосфера, литосфера, собственно биосфера (витасфера, в первую очередь фитосфера), а также планетарных маргинальных образований], по сравнению с взаимными связями и взаимными зависимостями, осуществляющимися между природными (естественными) источниками атомной (ядерной) энергии (месторождениями радиоизотопов, внепланетными влияниями ионизирующей радиации и т. д.) и геосферами.

Блок второй концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих значение природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии и значение предприятий атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом в функционировании и преобразованиях ландшафтов (ландшафтной сферы) Земли (в первую очередь, ландшафтных зон тундры, лесотундры, тайги, лесостепи, степей, полупустынь и пустынь, гор, подводных ландшафтов).

Блок третий концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих значение природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии, предприятий атомной (ядерной) энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом,

в индивидуальном и историческом развитии и функционировании прокариотических и эукариотических организмов (в первую очередь, бактерий, грибов, низших и высших растений, низших и высших беспозвоночных и позвоночных животных), в осуществлении организмами их роли в круговороте веществ, в биогеохимических циклах (включая часть последних, связанную с трофодинамическими цепями).

Блок четвертый концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих значение природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии и предприятий атомной энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом в индивидуальном развитии и жизнедеятельности человека (включая химический, радиохимический, физический, радиофизический, экологический, генетический, этологический, психологический, адаптационный, акклиматационный, иммунологический и патогенетический аспекты).

Блок пятый концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих значение природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии, предприятий атомной энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом в осуществлении природных феноменов [возникновении геофизической, в том числе радиационной, геохимической и физико-географической, в целом пространственной гетерогенности биосферы (формировании геохимических провинций, геохимических аномалий и ореолов рассеяния, магнитных аномалий и т.д.), проявлении тектонофизических процессов, эффектов геоактивных зон и т. д.].

Блок шестой концепции — анализ, установление и учет общих и сравнительных закономерностей, характеризующих значение природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии, предприятий атомной (ядерной) энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом в организации биосфера [с учетом иерархических соотношений, временной и пространственной динамики параметров надежности и устойчивости составляющих экосистем и экосистем в целом, способности к экореставрации на популяционном уровне (популяций производителей, консументов и редуцентов), на ценотическом уровне (включая трофодинамические цепи) и на экосистемном уровне (включая наземные и водные естественные, естественные искусственно преобразованные и искусственно созданные экосистемы, в том числе агро-

экосистемы, урбоэкосистемы и техноэкосистемы), а также с оценкой состояния фондов биосфера (в том числе эйдофонда, генофонда, фенофонда, популяционного фонда, фонда экотонов, ценофонда, фонда рефугиумов, фонда экологических коридоров, фонда почвенных индивидов, фонда типов природных вод, фонда экосистем и т. д.) и экореставрационных ресурсов (в первую очередь, локальных, диагносцируемых в пространстве размещения предприятий атомной (ядерной) энергетики и атомной промышленности и оказывающих под их воздействием)].

Блок седьмой концепции — установление общих и сравнительных закономерностей, определяющих возможность минимизации экологической опасности и разработку методик обеспечения экологической безопасности предприятий атомной (ядерной) энергетики (включая предприятия по хранению и захоронению отходов и собственно хранилища последних), предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом на основе использования биоэкологических, технологических и технических закономерностей и достижений [1] с учетом оценки осуществляющегося воздействия на окружающую среду и ответной реакции на фактическое воздействие; 2) с экологическим прогнозированием и анализом содержания экологических прогнозов; 3) с районированием и зонированием пространств размещения предприятий атомной (ядерной) энергетики и атомной промышленности и пространств, находящихся под их воздействием, по экологическим показателям (в частности, по показателям экологической опасности); 4) с анализом результатов проведения биоэкологических экспертизы, мониторинга, сертификации, индикации, тестирования, сенсометрии, скранинга и, в целом, аудирования; 5) с обоснованием и созданием локальных инженерно-мелиоративных систем экологической защиты — локальных искусственно конструируемых биогеохимических барьеров с использованием технологий искусственной дезактивации [71]; 6) с обоснованием и внедрением в практику страхового дела экологического страхования; 7) с совершенствованием структуры и состава информационных сетей и банков биоэкологических данных с регистрами и кадастрами; 8) со стандартизацией биоэкологических знаний для работников атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом, с организацией непрерывного приобщения к этим знаниям и с атtestацией по содержанию знаний; 9) с пропагандой знаний о государственном значении атом-

ной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом среди населения; 10) с разработкой эколого-экономических и экономико-экологических проблем атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом; 11) с разработкой и совершенствованием отражающих специфику атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом разделов экологического права].

Блок восьмой концепции — установление и анализ отличий предприятий атомной (ядерной) энергетики, предприятий теплоэлектроэнергетики, использующих каустобиолиты (органическое горючее, органические энергоносители), и предприятий, использующих нетрадиционные источники энергии (приливно-отливных океанических и морских электрических станций, геотермальных станций, ветровых электрических станций, солнечноэнергетических станций и т. д.), по их значению в химическом и механическом загрязнении окружающей природной среды и ее загрязнении радионуклидами (таблица).

Предназначение экологической концепции функционирования и развития атомной (ядерной) энергетики многоаспектно. Основные ее цели:

обеспечение экологической безопасности (минимизация экологической опасности и потенциальной болезнесторонности);

экологическое обоснование технического и технологического совершенствования;

улучшение качества основного продукта атомной (ядерной) энергетики — электрической энергии;

повышение эффективности предприятий атомной (ядерной) энергетики;

сохранение здоровья обслуживающего персонала и населения населенных пунктов, прилегающих к предприятиям атомной (ядерной) энергетики (а также персонала атомной промышленности и атомного флота);

сохранение, восстановление и оздоровление природной среды предприятий атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и пространств их окружающих;

создание и поддержание на предприятиях атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности, на транспорте с ядерным топливом и в связанных с ними населенных пунктах экологического оптимума, экологического комфорта;

обеспечение возможности осуществления на территориях и в акваториях, граничащих с предприятиями атомной (ядерной) энергетики,

атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом, различных категорий деятельности (в том числе сельского, лесного, рыбного и водного хозяйства).

Важнейшее требование к экологической концепции развития и функционирования атомной (ядерной) энергетики — системность содержания, предусматривающая объединение в единое целое на сравнительной основе закономерностей, отражающих, во-первых, значение атомной (ядерной) энергии, производимой ее природными (естественными) земными и внеземными источниками, в возникновении, формировании и существовании биосфера до начала атомной эры; во-вторых, закономерностей,

**Сравнительная характеристика потребления топлива и загрязнения окружающей среды теплоэлектростанцией и Ленинградской атомной электрической станцией  
(г. Сосновый Бор, Ленинградская область)  
при годовой выработке электрической энергии, равной 28 млрд. кВт·ч**

Показатели	Теплоэлектростанция	Ленинградская атомная электрическая станция
Выработанная электрическая энергия	28 млрд. кВт·ч	28 млрд. кВт·ч
Израсходованное топливо:		
Уголь	12 млн. т (190 тыс. вагонов)	—
Мазут	6 млн. т (99 тыс. цистерн)	—
Диоксид урана	—	286 т
Израсходованный атмосферный кислород	26 млн. т	—
Выброшены в окружающую среду:		
Оксиды углерода	29 млн. т	—
Оксиды азота	310 тыс. т	—
Оксиды серы	620 тыс. т	—
Зола	6,4 млн. т	—
Долгоживущие радиоактивные нуклиды	40 Ки	2 Ки
Мощность дозы в районе размещения станций	45–80 мкР/ч (зольные отвалы)	10–14 мкР/ч

характеризующих значение предприятий атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом в состоянии биосфера и в происходящих в ней преобразованиях в настоящее время и прогнозируемых на ближайшее и отдаленное будущее (при сопоставлении с предприятиями с иными энергетическими источниками и топливными циклами); в-третьих, закономерностей, свидетельствующих о сущности взаимоотношений природных (естественных) источников атомной (ядерной) энергии и искусственно созданных объектов, генерирующих и использующих атомную (ядерную) энергию, и о значении этих взаимоотношений для биотических, косных и биокосных составляющих биосферы, для осуществляющихся в биосфере процессов и явлений, для биосферы в целом.

Для выполнения требования системности, предъявляемого к экологической концепции развития и функционирования атомной (ядерной) энергетики, существен банк биоэкологических данных, специальная биоэкологическая информация, отсутствующая или известная и учитываемая фрагментарно [26]. Необходимы:

1) сведения об экологическом значении сочетаний физических и химических воздействий, оказываемых предприятиями атомной (ядерной) энергетики на составляющие экосистем и на экосистемы в целом (соответственно с учетом количественных и качественных характеристик воздействий, их временных сроков и длительности);

2) сведения о сущности реакций составляющих экосистем и экосистем в целом на физические и химические воздействия предприятий атомной (ядерной) энергетики в зависимости от состояния, определяемого природными циклами и ритмами (в первую очередь, метеорологическими, гидрологическими, климатическими, солнечной активности);

3) сведения о преемственности и последовательности реакций составляющих экосистем и экосистем в целом на химические и физические воздействия предприятий атомной (ядерной) энергетики;

4) сведения о мере химических и физических воздействий, оказываемых предприятиями атомной (ядерной) энергетики, при подверженности воздействию которых состояние и функционирование составляющих экосистем и экосистем в целом сохраняются без необратимых нарушений (с учетом характеристик иммунитета, резистентности, толерантности);

5) сведения о репродуктивных потерях и нарушении способности к экореставрогенезу,

при появлении которых возникает риск для существования составляющих экосистем и экосистем в целом;

6) сведения об экологической пространственной совместимости и экологической пространственной несовместимости [85] предприятий атомной (ядерной) энергетики друг с другом и с предприятиями иных отраслей производства;

7) сведения о закономерностях возникновения и диагносцируемого проявления ранних, сверххранящих и отдаленных реакций организмов, популяций, биоценозов, физических сред обитания и экосистем в целом на химические и физические воздействия, оказываемые предприятиями атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспортом с ядерным топливом [5, 29, 47, 48, 61, 62, 102];

8) сведения о закономерностях, характеризующих генетические и в целом видовые отличия организмов, а также отличия биоценозов и экосистем отдельных классификационных типов на химические и физические воздействия, оказываемые предприятиями атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспортом с ядерным топливом [108, 112];

9) сведения о закономерностях, характеризующих неспецифичность и проявление специфики в реакции организмов, популяций, биоценозов, физических сред обитания и экосистем на химические и физические воздействия, оказываемые предприятиями атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспортом с ядерным топливом [2, 106].

10) сведения о закономерностях, характеризующих сезонное экологическое значение предприятий атомной (ядерной) энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом;

11) сведения о закономерностях, характеризующих экологическое значение отходов атомной (ядерной) энергетики, атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом [42, 58, 107];

12) сведения о закономерностях, характеризующих экологическое значение предприятий атомной энергетики, предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом после прекращения их эксплуатации [19].

Обоснование и создание системной и вместе с тем целостной экологической концепции развития и функционирования атомной (ядерной) энергетики — сложная и комплексная задача. Ее решение абсолютно необходимо, так как оно должно способствовать прогрессу атомной (ядерной) энергетики, осознанию обще-

ством ее значения, использованию ее возможностей для социальных и экономических целей, для сохранения и оздоровления биосферы, для здравоохранения.

Минимизация экологической опасности предприятий атомной (ядерной) энергетики, как и предприятий атомной промышленности и транспорта с ядерным топливом, может быть более эффективно достигнута при управлении состоянием природной среды, экологической ситуацией [91]. Обоснование технологий ми-

нимизации экологической опасности, разработка технологий минимизации, ее поддержания и сохранения, как и обеспечение возможной экологической безопасности в целом, — проблема глобального значения, предусматривающая межгосударственное объединение научных, технологических и технических достижений. Сложность и междисциплинарность проблемы — свидетельство необходимости именно межгосударственных — кооперативных решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурасулов Д.М., Владимиров Э.Н., Димант И.Н. Предприятия теплоэнергетики — источник канцерогенного загрязнения земной поверхности // Растения и химические канцерогены / Ред. Э.И. Слепян. Л.: Наука, 1979. С. 179, 180.
2. Александров В.Я. Специфическое и неспецифическое в реакции клетки на повреждающие воздействия // Труды Института цитологии, гистологии и эмбриологии АН СССР. М., 1948. Т. III, вып. 1. С. 3–82.
3. Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера. М.: Энергоиздат, 1982. 215 с.
4. Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах // М.: Наука, 1977. 142 с.
5. Первичные радиobiологические процессы / М.И. Амирагова, Н.А. Луженкова, Н.П. Крушинская, А.С. Мочалина. М.: Атомиздат, 1973. 336 с.
6. Безопасность АЭС с канальными реакторами / А.Н. Ананьев, Л.А. Белянин, А.П. Еперин, В.И. Лебедев. М.: Энергоатомиздат, 1996. 400 с.
7. Радиоактивность почв и методы ее определения / Ред. И.Н. Антипов-Каратаев. М.: Наука, 1966. 258 с.
8. Афанасьев А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: внешние издержки и проблемы принятия решений / Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М., 1998. 56 с.
9. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда / Н.С. Барабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин, В.А. Книжников. М.: Энергоиздат, 1984. 311 с.
10. Барабашев С.В., Верховецкий Н.А., Пристер Б.С. Радиоактивное и химическое загрязнение почвы и растительности в районе Запорожской АЭС / Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова. М., 1991. 82 с.
11. Безопасность атомных станций. М.: Росэнергатом, 1994. 255 с.
12. Барьеры безопасности на АЭС с канальными реакторами / Л.А. Белянин, В.И. Лебедев, Ю.В. Гарусов, А.П. Еперин. М.: Энергоатомиздат, 1997. 192 с.
13. Безопасность АЭС с канальными реакторами. Реконструкция активной зоны / Л.А. Белянин, В.И. Лебедев, Е.П. Рязанцев, Ю.В. Гарусов. М.: Энергоатомиздат, 1997. 258 с.
14. Безопасность ЛАЭС в изобретениях / Л.А. Белянин, В.И. Лебедев, Л.В. Шмаков, Ю.Г. Скок. М.: Энергоатомиздат, 1997. 207 с.
15. Березюк В.Г., Евтухова О.В. Флотация радионуклидов. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та. 1993. 116 с.
16. Полициклические ароматические углеводороды нефти и органического вещества пород как возможные источники загрязнения среды обитания растений / А.И. Богомолов, Н.А. Шейнерман, А.Е. Гребень, М.Б. Тимяко // Растения и химические канцерогены / Ред. Э.И. Слепян. Л.: Наука, 1979. С. 173–175.
17. Браславский А.П., Кумарина М.Н., Смирнова М.Е. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 252 с.
18. Бурлаков Е.В., Виноградов В.Н., Гарусов Ю.В. Энергоблок с реакторной установкой повышенной безопасности МКЭР-1000 // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 62–66.
19. Былкин Б.К., Гарусов Ю.В., Зверков Ю.А. Экологические проблемы проведения работ по выводу из эксплуатации первого энергоблока Ленинградской АЭС // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Вып. 2. С. 93–97.
20. Климатические и биологические последствия ядерной войны / Ред. Е.П. Велихов. М.: Наука, 1987. 288 с.
21. Ветютнев А.И., Мартынов В.И. За безопасность функционирования Ленинградской атомной электрической станции // Жизнь и безопасность. 1998. № 1. С. 441–443.
22. Вовк И.Ф. Радиолиз подземных вод и его геохимическая роль. М.: Недра, 1979. 231 с.
23. Войткевич Г.В. Радиоактивность в истории Земли. М.: Наука, 1970. 167 с.
24. Войткевич Г.В. Геохимия и космохимия изотопов. М.: Энергоатомиздат, 1983. 101 с.
25. Воробьев Е.И. Основные факторы риска для здоровья при получении энергии в ядерном и угольном топливных циклах. М., 1988. 21 с.
26. Воробьев Е.И., Резниченко В.Ю. Экоинформатика в атомной энергетике. М.: Энергоатомиздат, 1991. 157 с.
27. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Наука, 1968. 224 с.
28. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов. М.: Наука, 1981. 247 с.
29. Гогебашвили Н.К. Отдаленные последствия радиации. Цитогенетические исследования. Тбилиси: Сабчота сакартвело, 1978. 63 с.
30. Гольданский В.И., Родионов С.Н. Международные ядерные силы безопасности // Мир без ядерного оружия: насколько он желателен и осуществим? Нобелевские лекции мира. М.: Машиностроение, 1996. С. 169–177.
31. Готтих Р.П. Радиоактивные элементы в нефтегазовой геологии // М.: Недра, 1980. 253 с.
32. Григорьев Ю.Г. Космическая радиобиология. М.: Энергоиздат, 1982. 175 с.
33. Гродзинский Д.М. Естественная радиоактивность растений и почв. Киев: Наук. думка, 1965. 216 с.
34. Громыко А.А., Ломейко В.Б. Новое мышление в ядерный век. М.: Международные отношения, 1984. 292 с.

35. Гулякин И.В., Кудинцева Е.В. Радиоактивные продукты деления в почве и растениях. М.: Госатомиздат, 1962. 276 с.
36. Даевъдов К.П. Составление радионуклидов в растворах. Минск: Наука и техника, 1978. 224 с.
37. Даниленко А.И., Шевченко И.Н. Природная радиоактивность растений, животных и человека. Киев: Наук. думка, 1981. 133 с.
38. ХХI век: перспективы мировой энергетики, включая ядерную энергетику деления и синтеза // Петербургский экономический форум. Круглый стол / Вед. Е.П. Велихов. М., 1992. 111 с.
39. Дикун П.П., Костенко Т.Ф., Ливеровский А.А. О механизмах образования бенз(а)пирена при пиролизе древесины // Растения и химические канцерогены / Ред. Э.И. Слепян. Л.: Наука, 1979. С. 171–173.
40. Елагин Ю.П., Игнатьев В.В., Субботин С.А. Принципы совершенствования атомных станций и экологическое обоснование безопасности перспективных проектов / ЦНИИатоминформ. М., 1993. 16 с.
41. Елерин А.П. О некоторых аспектах развития ядерной энергетики // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 28–29.
42. Елихин А.И. Комплексная программа обращения с радиоактивными отходами — залог устойчивого повышения безопасности ЛАЭС // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Спец. вып. С. 31–36.
43. Ефимов А.А., Леонтьев Г.Г., Вилков Н.Я. Химический и радиационный контроль как факторы повышения надежности и безопасности АЭС // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Вып. 1. С. 83–92.
44. Журавлев В.П. Атомная энергетика и экология — реализация проекта АЭС нового поколения // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Спец. вып. С. 13–16.
45. От теории к практике: психологические основы культуры безопасности атомной энергетики и промышленности // Человеческие факторы и культура безопасности атомной энергетики и промышленности / Ред. Г.Е. Журавлев. Центральный экономико-математический институт РАН. М., 1997. Вып. 3. 274 с.
46. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб.: Прогресс-Погода, 1996. 355 с.
47. Ильин Б.Н., Борисова З.В., Ветух В.А. Отдаленные биологические эффекты комбинированного действия радионуклидов различной тропности. М.: Энергоатомиздат, 1991. 161 с.
48. Каленко Г.С. Ранние реакции клеток на ионизирующее излучение и их роль в защите и сенсибилизации. М.: Энергоиздат, 1982. 97 с.
49. Кароль И.Л. Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 365 с.
50. Катченков С.М. Канцерогенные микроэлементы в сланцах и нефтях // Растения и химические канцерогены / Ред. Э.И. Слепян. Л.: Наука, 1979. С. 185–186.
51. Кондратьев В.Г., Елихин А.И. Оптимизация комплексированных норм и правил радиационной безопасности // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 30–35.
52. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М.: Наука, 1991. 116 с.
53. Кузин А.М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке. М.: Наука, 1995. 157 с.
54. Кунаев М.А., Мясников Ю.Н. Опыт повышения характеристик надежности и безопасности транспортных АЭУ // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 36–41.
55. Лабейш В.Г. Экология энергетики в перспективе устойчивого развития // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 60–61.
56. Ларцина Л.Е., Воронкова Э.М. Влияние сбросовых вод ТЭС и АЭС на биологический и химический режимы водохранилищ-охладителей. Л.: Энергия, 1974. 56 с.
57. Лебедев В.И. Ленинградская АЭС: генеральный курс — безопасность // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Спец. вып. С. 8–12.
58. Радиоэкологические аспекты обращения с радиоактивными отходами на Ленинградской АЭС / В.И. Лебедев, Ю.В. Гарусов, Е.П. Козлов, С.М. Ковалев // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Вып. 2. С. 60–66.
59. Макушкин А.В., Скок Ю.Г. Углубленная оценка безопасности Ленинградской АЭС // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Вып. 2. С. 73–82.
60. Ядерная энергетика будущего. Атомная энергетика России на пороге ХХI века / Ред. Ф.М. Митенков. М.: 1995. 103 с.
61. Монастырская Б.И., Симоненкова В.А., Медведовская Ц.П. Ранние эффекты действия нейтронов на клетки эпителия животных. Л.: Наука, 1978. 128 с.
62. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений. М.: Медицина, 1991. 463 с.
63. Натха С.В., Аникин А.А. Особенности обеспечения радиационно-экологической безопасности на береговых объектах ВМФ // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Гл. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1999. Вып. 1. С. 51–52.
64. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982. 208 с.
65. Никаноров А.М., Федоров Ю.А. Стабильные изотопы в гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 247 с.
66. Панкина Р.Г. Геохимия изотопов серы нефти и органического вещества. М.: Недра, 1978. 247 с.
67. Паршин А.М., Тихонов А.Н. Коррозия металлов в ядерном энергомашиностроении. СПб.: Политехника, 1994. 93 с.
68. Пеньков В.Ф. Уран и углеводороды. М.: Недра, 1989. 144 с.
69. Петренко И.Г. Изотопы в геохимии каустобиолитов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 87 с.
70. Петросьянц А.М. Атомная энергетика. М.: Наука, 1976. 318 с.
71. Поляков Ю.А. Радиоэкология и дезактивация почв. М.: Атомиздат, 1970. 303 с.
72. Миграция и биологическое действие естественных радионуклидов в условиях северных биогеоценозов / Ред. О.Н. Попова // Труды Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1980. № 46. 179 с.
73. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. М.: Энергоиздат, 1981. 99 с.
74. Экосистемные перестройки и эволюция биосфера / Ред. А.Ю. Розанов, М.Ю. Семихатов. М.: Недра, 1994. Вып. 1. 367 с.

75. Рублевский В.П., Голенецкий С.П., Кирдин Г.С. Радиоактивный углерод в биосфере. М.: Атомиздат, 1979. 150 с.
76. Рубцов Д.М. Гумус и естественные радиоактивные элементы в горных почвах Коми АССР. Л.: Наука, 1974. 74 с.
77. Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 209 с.
78. Слепян Э.И. Экологическая реальность, филогенетическое прогнозирование и триада филогенетического анализа // Макроэволюция: Материалы I-й Всес. конф. по проблемам эволюции. М.: Наука, 1984. С. 71, 72.
79. Слепян Э.И. Химические трансформирующие соединения в растительных сообществах // Экология и рак / Ред. А.И. Быкорез. Киев: Наук. думка, 1985. С. 23–55.
80. Слепян Э.И. Направленность повреждающего воздействия химических трансформирующих соединений на экосистемы // Канцерогены и экосистемы. Киев, 1986. С. 8–10.
81. Слепян Э.И. О триаде гигиенического анализа // Методологические и методические проблемы оценки состояния здоровья населения. СПб.: Наука, 1992. С. 439, 440.
82. Слепян Э.И. Биосферософское мировоззрение // Между школой и университетом: Вторая Междунар. конф. по экологическому образованию. Тула, 1996. С. 72–78.
83. Слепян Э.И. Надежность и устойчивость живых систем в условиях нарушений природной среды // Региональная экология. 1997. № 1–2. С. 21–33.
84. Слепян Э.И. Экологическая опасность, экологическая безопасность, экологическая защита: смысл и соотношение // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Докл. Второй Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. / Ред. Н.И. Иванов. СПб., 1997. Т. 1. С. 115–127.
85. Слепян Э.И. Экологическая совместимость и несовместимость производств и технологий, их значение и категории // Экология и развитие Северо-Запада России: Вторая Междунар. конф. СПб.—Кронштадт, 1997. С. 252, 253.
86. Слепян Э.И. Экореставрационные ресурсы и минимизация экологической опасности // Экологическая безопасность на пороге XXI века: Тез. докл. Междунар. конф. / Ред. В.П. Орлов, О.В. Петров; Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. СПб., 1999. С. 178–179.
87. Слепян Э.И., Еперин А.П. Проблема обоснования и создания системы экологической защиты у мест захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. Хранение, транспортировка, переработка. Влияние на окружающую среду: Тез. докл. Междунар. конф. СПб., 1996.
88. Слепян Э.И., Еперин А.П. Необходимость системы биоэкологического контроля за территорией размещения могильников радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. Хранение, транспортировка, переработка. Влияние на человека и окружающую среду: Тез. докл. Междунар. конф. СПб., 1996.
89. Слепян Э.И., Еперин А.П. Гидравлически толерантный водоназемный экотон в зоне размещения приморской атомной электрической станции как хемопротекторный барьер // Вода: экология и технология. Акватэк-96: Сб. тез. докл. Второго Междунар. конгресса. М., 1996. С. 92.
90. Слепян Э.И., Лебедев В.И. Экологическая концепция функционирования и развития атомной энергетики: система и структура // Развитие атомной энергетики и возможности продления сроков службы атомных энергоблоков ПСС АЭС-99: Науч.-практ. конф. / Ядерное общество России при поддержке Министерства по атомной энергии РФ. СПб., 1999. С. 22–24.
91. Слепян Э.И., Лебедев В.И., Епихин А.И. Управление природной средой территорий предприятий атомной энергетики и создание систем экологической защиты // Региональная энергетика: ядерные и ненядерные решения: Девятая Ежегодная науч.-техн. конф. / Ядерное общество России. Димитровград, 1998. С. 185–186.
92. Слепян Э.И., Лебедев В.И. и др. Природная среда Ленинградской атомной электрической станции (г. Сосновый Бор Ленинградской области) // Жизнь и безопасность. 1997. № 4; 1998. № 1.
93. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. Л.: Недра, 1974. 231 с.
94. Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л.: Недра, 1979. 191 с.
95. Соботович Э.В. Изотопная космохимия. М.: Атомиздат, 1974. 207 с.
96. Стыро Б.И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 288 с.
97. Стыро Б.И., Гарбалаускас Ч.А., Луянас В.Ю. Исследование процессов самоочищения атмосферы от радиоактивных изотопов. Вильнюс: Минитис, 1968. 352 с.
98. Тюрюканова Э.Б. Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. М.: Наука, 1974. 155 с.
99. Изотопия природных вод / Ред. В.И. Ферронский // М.: Наука, 1978. 244 с.
100. Черников А.А. Поведение урана в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1981. 207 с.
101. Радиационный мутагенез и его роль в эволюции и селекции / Ред. В.А. Шевченко. М.: Наука, 1987. 255 с.
102. Шевченко В.А., Печкуренков В.Л., Абрамов В.И. Радиационная генетика природных популяций. Генетические последствия Кыштымской аварии. М.: Наука, 1992. 220 с.
103. Геохимия радиогенных изотопов на ранних стадиях эволюции Земли / Ред. Ю.А. Шуколюков. М.: Наука, 1983. 272 с.
104. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. М.: Наука, 1999. 267 с.
105. Разделение элементов и изотопов в геохимических процессах / Ред. В.В. Щербина. М.: Наука, 1979. 232 с.
106. Эйдус Л.Х. Неспецифическая реакция клеток и радиочувствительность. М.: Атомиздат, 1977. 151 с.
107. Якушев М.Ф., Карапаев Б.А. Экология и проблемы обращения с радиоактивными отходами на Ленинградском спецкомбинате "Радон" // Экология и атомная энергетика: Науч.-техн. сб. / Отв. ред. В.Г. Кондратьев; ЛАЭС. Сосновый Бор, 1998. Вып. 2. С. 98–104.
108. Сравнительная клеточная и видовая радиочувствительность / Ред. В. Бонд, Т. Сугахара // М.: Атомиздат, 1974. 197 с.
109. Харуэлл М., Хатчинсон Т. Последствия ядерной войны. Воздействие на экономику и сельское хозяйство. М.: Мир, 1988 (1985). 490 с.
110. Мушкат М. Атомная энергия и борьба за мир. М.: Изд-во иностр. лит., 1951. 359 с.
111. Полинг Л. Не бывать войне! М.: Изд-во иностр. лит., 1960 (1958). 235 с.
112. Постпешил М., Ваха И. Индивидуальная радиочувствительность, ее механизмы и проявления. М.: Энергоатомиздат, 1986. 108 с.