

К вопросу о радиоэкологии реки Дунай

Д. Я. Кётелеш

Предполагаемый рост атомной энергетики в государствах-членах МАГАТЭ, расположенных по берегам реки Дунай, ставит определенные вопросы радиологической защиты, которые могут быть лучше всего разрешены в рамках международного сотрудничества. Понимая это, прибрежные страны выразили желание принять участие в объединенных исследованиях, когда МАГАТЭ предложило начать осуществление такой программы. Непосредственно работа была начата уже в ноябре 1975 года, когда "Консультативная группа по изучению проблем взаимного сотрудничества между странами бассейна реки Дунай" рекомендовала созвать в рамках координированной исследовательской программы группу экспертов и определить основные темы исследований [1]. Эта программа, как обычно, опиралась на основные принципы такой координации, а именно: а) участие государств-членов не является обязательным, б) совместные исследования основываются на соответствующих национальных программах, и с) технические и научные рекомендации международной группы экспертов могут привести к улучшению соответствующей национальной деятельности или ее регулированию.

В результате рекомендаций этой первой Консультативной группы в середине 1976 года было начато осуществление координированной программы, которое продолжилось до середины 1979 года. В следующем разделе излагается основная цель программы и некоторые репрезентативные данные.

БАССЕЙН ДУНАЯ

Дунай, длина которого составляет 2857 км, является одиннадцатой в мире рекой по своей длине и самой длинной международной рекой в Европе. Его водосборная площадь составляет 817 000 кв. км или примерно одну двенадцатую часть континента. От истоков в Шварцвальде на высоте 1000 метров над уровнем моря до своей трехрукавной дельты в Черном море Дунай протекает через восемь стран и собирает воды с территорий двенадцати стран. Бассейн Дуная показан на рис. 1. Все восемь стран, через которые протекает Дунай, являются государствами-членами МАГАТЭ; это Австрия, Болгария, Венгрия, Румыния, СССР, Федеративная Республика Германии, Чехословакия и Югославия. Дунай питается 129 притоками, при-

Д-р Кётелеш — бывший сотрудник Отдела ядерной безопасности и защиты окружающей среды МАГАТЭ, где он руководил объединенной исследовательской программой МАГАТЭ "Проблемы радиоэкологии реки Дунай". В настоящее время он является заместителем директора по научным вопросам Национального исследовательского института радиобиологии и радиационной гигиены им. Фредерика Жолио-Кюри, Будапешт, Венгрия.

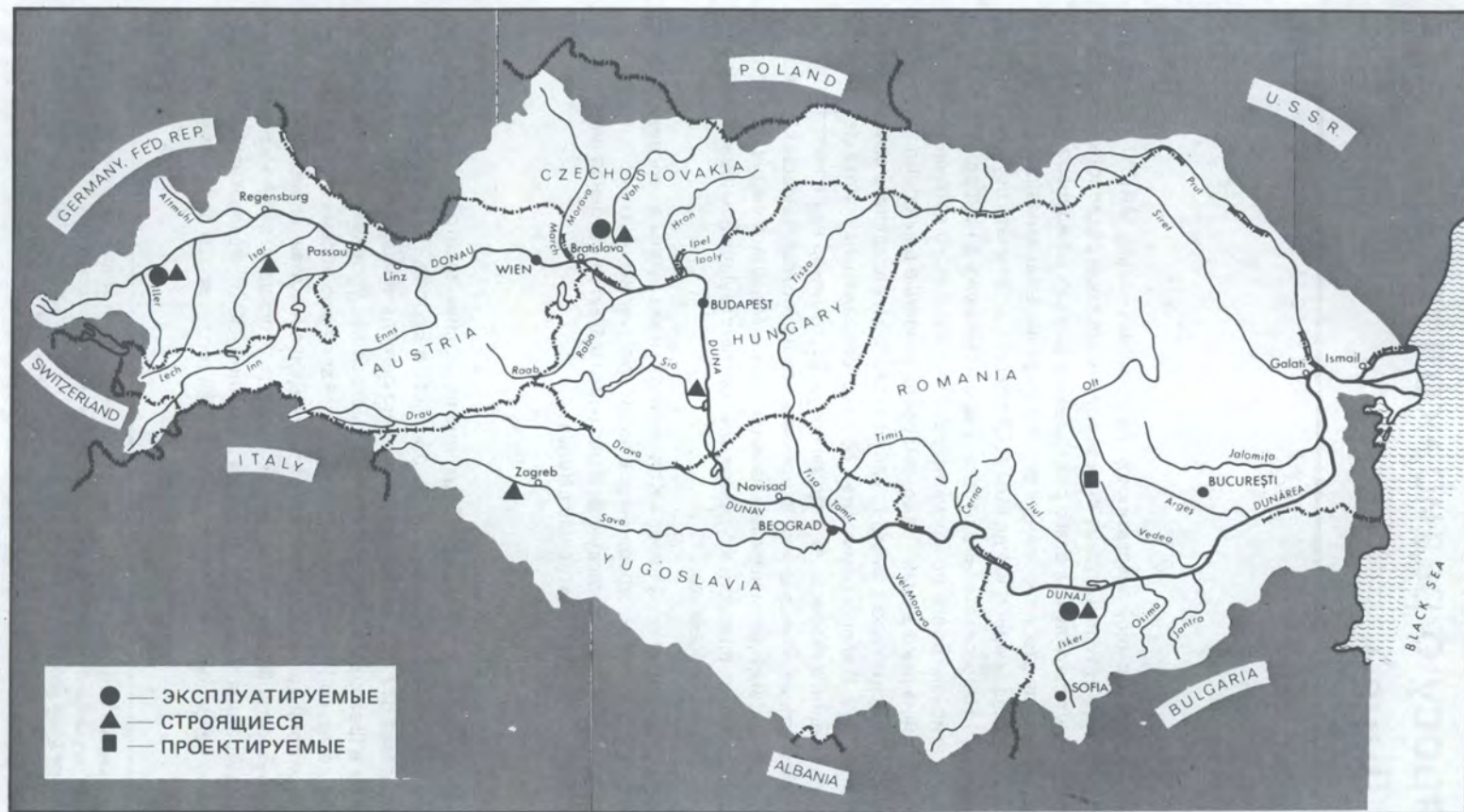


Рис. 1. Гидрологическая карта водосборной площади Дуная с указанием эксплуатируемых (●), строящихся (▲) и проектируемых (■) атомных электростанций.

чем почти все они более 20 км длиной, а 29 имеют длину более 200 км. На его водосборной площади проживает почти 70 млн. человек, которые пользуются его водой для питья, орошения, рыбной ловли, промышленности, транспорта и спорта. Дунай является главным приемником сбросных вод в площади бассейна. Большое влияние реки на экосистему ее водосборной площади еще больше увеличится, когда будут осуществлены планируемые соединения Дунай-Майн-Рейн, Дунай-Одер-Эльба, Дунай-Морава-Вардар-Эгейское море.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В дополнение к действующим или проектируемым гидроэлектростанциям в долине Дуная к сложным проблемам водной среды и качества воды добавятся новые факторы, такие, как развитие атомной промышленности. Перечень существующих или проектируемых атомных электростанций приводится в таблице 1 [2, 3, 4]. Можно увидеть, что в течение следующих шести лет почти все прибрежные государства планируют эксплуатировать или строить атомные электростанции на Дунае или его притоках; полная установленная мощность АЭС, которая в настоящее время составляет примерно 2,5 ГВт (эл.) за шесть лет увеличится в четыре раза, а к концу века — примерно в шесть раз. Эти темпы роста примерно в три раза выше, чем в среднем по Европе или по всему миру. Эти данные свидетельствуют также о том, что в реку будут сбрасываться радиоактивные стоки атомных электростанций общей мощностью примерно 13 400 МВт (эл.). Разумеется, величина этих сбросов будет зависеть от проекта станции и ее охлаждающей системы. Однако источники сбросов будут распределены неравномерно, т.е. 60% будет сбрасываться в верхней трети и 75% в верхней половине реки, соответственно. Принимая во внимание международный опыт эксплуатации реакторов BWR и PWR можно ожидать, что если исключить тритий, 70% общих радиоактивных сбросов будет происходить в верхней трети реки.

Таблица 1. Атомные электростанции в бассейне реки Дунай*

№	Название и местоположение	Тип	Мощность тепловая/ полезная электрическая		Состояние	Время пуска
---	---------------------------	-----	--	--	-----------	----------------

ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА ГЕРМАНИИ

1.	KRB Гундреминген-А	BWR	801	237	В эксплуатации	1967
2.	KKN Нидерайхбах	HWGCR	321	100	Закрыта (1974)	1972
3.	KKI Изар-1 Оху	BWR	2575	870	В эксплуатации	1979
4.	KRB Гундреминген-В	BWR	3840	1244	Строится	1982
5.	KRB Гундреминген-С	BWR	3840	1244	Строится	1982
6.	KKI Изар-2 Оху	—	3765	1230	Проектируется	1986

АВСТРИЯ

7.	Тульнерфельд Цвентендорф	BWR	2100	692	* *	
----	-----------------------------	-----	------	-----	-----	--

Таблица 1. Атомные электростанции в бассейне реки Дунай* (продолж.)

№	Название и местоположение	Тип	Мощность тепловая/ полезная электрическая		Состояние	Время пуска
ЧЕХОСЛОВАКИЯ						
8.	А-1 Богунице Ясловске- Богунице	HWGCR	560	110	В эксплуатации	1972
9.	Богунице-1 Трнава	PWR	1375	380	В эксплуатации	1979
10.	Богунице-2 Трнава	PWR	1375	380	Строится	1980
11.	Левице-1 Словакия	PWR	1375	420	Проектируется	
12.	Левице-2 Словакия	PWR	1375	420	Проектируется	
13.	Левице-3 Словакия	PWR	1375	420	Проектируется	
14.	Левице-4 Словакия	PWR	1375	420	Проектируется	
15.	Брно Брно	PWR	1375	420	Проектируется	
ВЕНГРИЯ						
16.	Пакш-1 Пакш	PWR	1375	408	Строится	1980
17.	Пакш-2 Пакш	PWR	1375	408	Строится	1981
18.	Пакш-3 Пакш	PWR	1375	408	Проектируется	1984
19.	Пакш-4 Пакш	PWR	1375	408	Проектируется	1985
ЮГОСЛАВИЯ						
20.	Кршко Кршко	PWR	1876	632	Строится	1980
РУМЫНИЯ						
21.	Олт	PWR		408	Проектируется	1983
22.	Чернавода	PHWR		600	Проектируется	
БОЛГАРИЯ						
23.	Козлодуй-1 Козлодуй	PWR	1375	408	В эксплуатации	1974
24.	Козлодуй-2 Козлодуй	PWR	1375	408	В эксплуатации	1975
25.	Козлодуй-3 Козлодуй	PWR	1375	408	Строится	1980
26.	Козлодуй-4 Козлодуй	PWR	1375	420	Строится	1980

* Библиография [2, 3, 4].

** Планировалась на 1979 год, но строительство прекращено в результате референдума.

ЦЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТЫ КООРДИНИРОВАННОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРОГРАММЫ

В период начала осуществления совместной программы в некоторых национальных лабораториях уже проводилась хорошо организованная деятельность в этой области. Следовательно, первой задачей было сравнить данные, согласовать методы измерений, включая решающие факторы сбора и подготовки образцов окружающей среды,

таких, как вода, отложения и водная биота. На следующей стадии целью программы было выявление критических путей, по которым радиоактивные загрязнители достигают людей, и определение критических групп населения, получающих наибольшее облучение в результате использования вод Дуная, независимо от вида использования. Если будет показано, что радиационная нагрузка этих групп населения приемлемо низка, можно быть уверенным, что ни один человек из числа населения не будет облучен до опасного для здоровья уровня. Эти исследования дают также информацию для установления вычисленных пределов сброса радиоактивных материалов в реку, как это требуется и рекомендуется группами международных экспертов [5]. Эти основы координированных исследований представляются подходящими и важными для обеспечения радиологической безопасности и защиты окружающей среды в долине Дуная.

Подробные результаты, полученные в течение первых трех лет осуществления программы, были опубликованы в серии МАГАТЭ-TECDOC [4, 6]. Хотя исследования, проводимые в разных странах, различны в деталях применяемых подходов и методов, полученные результаты выявили много важных и общих факторов и обеспечили хорошие численные данные. В некоторых странах эти исследования были необходимы как предэксплуатационные изыскания перед началом сооружения атомных электростанций. В других они являются частью обычного оперативного контроля за загрязнителями, сбрасываемыми из атомных установок.

Ниже приводятся некоторые репрезентативные данные, показывающие диапазон измеряемых концентраций радиоактивности в речной воде и отложениях.

	Изотоп	Концентрация
В воде	тритий	60 — 400 тритиевых единиц (ТЕ)
	кобальт-60	0,07 — 60 миллибеккерелей/литр (мБк/л)
	стронций-90	1,1 — 20 мБк/л
	цезий-137	0,37 — 20 мБк/л
	радий-226	7,4 — 44 мБк/л
В отложениях:	кобальт-60	81 — 220 Бк/л
	стронций-90	0,74 — 30 Бк/л
	цезий-137	2,6 — 33 Бк/л
	радий-226	55 — 140 Бк/л

Следует отметить, что величины, измеренные в различных лабораториях, хорошо согласовались между собой. Поскольку это является одним из важнейших моментов в таком международном сотрудничестве, особое внимание было уделено взаимному сравнению измеренных величин. Поэтому в ходе программы использовались надлежащие эталоны, а участники включились также в программу МАГАТЭ по взаимным проверкам и аналитическому контролю качества.

Достаточно широкий диапазон измеренных величин охватывает также сезонные изменения концентрации определенных нуклидов; например, концентрация цезия-137 ежегодно значительно увеличивается весной и ранним летом. Было высказано мнение, что максимальные значения возникают вследствие стратосферно-тропосферного обмена, т.е. являются следствием испытаний ядерного оружия. Данные также показывают, что радионуклиды, наиболее важные с точки зрения радиационной защиты,

сильно поглощаются отложениями. Следовательно, перенос этих нуклидов через национальные границы в этой международной реке происходит намного медленнее, чем перенос нуклидов, растворенных в воде. Однако были также проведены исследования перераспределения нуклидов из различных типов отложений в воду при различных условиях (гидрологических, тепловых, химических и т.д.); эти исследования были выполнены как на местах, так и в лабораторных условиях [1, 4, 6].

Однако для оценки доз радиации, получаемых критическими группами населения, нужны были дополнительные данные относительно поведения нуклидов в окружающей среде и путей их переноса. Следовательно, было важно начать также исследования радиоактивного содержания биоты. Исследования включали определение радиоактивного содержания биоты, извлеченной прямо из реки, а также в условиях лабораторных экспериментов. Последние требуют большего времени, поэтому окончательных результатов еще не имеется. Концентрации радионуклидов, обнаруженные в организмах различных исследуемых видов, изучались путем сравнения их с концентрацией в воде; коэффициенты концентрации, как было обнаружено, изменяются в широком диапазоне. Это, конечно, неудивительно, так как аналогичные диапазоны значений известны из сообщений, касающихся других регионов. Например, коэффициенты концентрации для кобальта-60 колеблются в пределах 2000-13 000 для водорослей, 240-1600 для акваторических растений, 20-3000 для рыб. Еще более высокие коэффициенты концентрации кобальта-60 были измерены в планктоне. В рыбе, как было обнаружено, коэффициент концентрации стронция-90 колеблется от 30 до 370, цезия-137 — от 50 до 3500. Большие колебания коэффициентов концентрации ожидаются также для различных участков реки вследствие воздействия гидроэлектростанций на популяции флоры и фауны. Очевидные свидетельства такого воздействия были получены в связи с сооружением плотины Дьердап ("Железные ворота") в Югославии, т.е. в районе верхнего водохранилища наблюдалось большее накопление радионуклидов, чем имело место в реке до начала строительства.

Здесь необходимо упомянуть, что принятие рекомендаций по взятию проб (например, касающихся выбора мест для взятия проб, материалов для пробы, частоты отбора проб или предварительной подготовки образцов) будет, очевидно, содействовать сравнимости и достоверности данных о концентрациях радиоактивности на различных участках речной среды.

Так как конечной целью этих исследований окружающей среды является защита населения, в некоторых лабораториях были начаты работы по определению, например, критических путей попадания радионуклидов через пищевые цепочки к человеку, а также критических групп среди населения. Эта работа была начата после накопления основных данных по концентрациям радиоактивности и поведению нуклидов в специфических условиях. Там, где эти исследования были завершены, оказалось возможным сделать оценки облучения отдельных лиц и критических групп населения; оказалось, что это облучение значительно ниже 1% облучения от естественной радиации.

Последним — по порядку, но не по важности, — а фактически одним из наиболее важных результатов проекта было тесное сотрудничество среди экспертов прибрежных государств независимо от их социальной или политической системы. Все эти страны были представлены в программе либо как исследователи, либо как наблюдатели. Некоторые международные организации, такие, как ВОЗ, ЕЭК, ООН, СЭВ

и Комиссия по Дунаю, также следили за ходом работ по программе. Связи между участвующими лабораториями, осуществляемые через консультативную группу и совещания по координации исследований, оказали воздействие на существующие в придунайских странах программы контроля радиоактивности, содействуя развитию национальных систем и методов контроля.

Оказалось, что все задачи программы невозможно было выполнить за 3 года. Потребуется еще некоторое время, прежде чем все лаборатории, занимающиеся этими проблемами, соберут необходимые данные для полного рассмотрения вопросов радиологической безопасности защиты окружающей среды соответствующих участков Дуная. Требуется прояснения и ряд других факторов воздействия на окружающую среду, таких, как синергетическое воздействие тепловых, химических и радиоактивных загрязнителей и характера влияния этого воздействия на длительное распределение и перераспределение последнего из упомянутых загрязнителей. Требуются также исследования, которые позволили бы достичь соглашения относительно общей методики оценки индивидуальных и коллективных доз, которые являются результатом различных видов использования Дуная в каждой придунайской стране. Необходимо также соглашение о минимальных требованиях к международному экологическому контролю.

Организационные и научные результаты, полученные на сегодняшний день в ходе осуществления этой широкой программы при относительно малых затратах (приблизительно 100 000 долл.), доказывают, что такие совместные исследовательские программы могут иметь весьма благоприятное соотношение затраты/выгоды. Эта форма сотрудничества может содействовать разрешению не только определенных технических и научных проблем в области защиты окружающей среды, но и некоторых организационных и административных проблем на национальном и международном уровнях.

Библиография

- [1] IAEA's Advisory Group to Study Questions of Mutual Co-operation Between Countries in the Danube Catchment Area, AG-41, IAEA (1976).
- [2] Power Reactors in Member States, IAEA, Vienna (1979).
- [3] World List of Nuclear Power Plants, Nuclear News (February 1979).
- [4] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, IAEA-TECDOC-219, IAEA, Vienna (1979).
- [5] Principles for Establishing Limits for the Release of Radioactive Materials into the Environment, Safety Series No.45, IAEA, Vienna (1978).
- [6] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, Vol. 2, IAEA-TECDOC, IAEA, Vienna (in press).