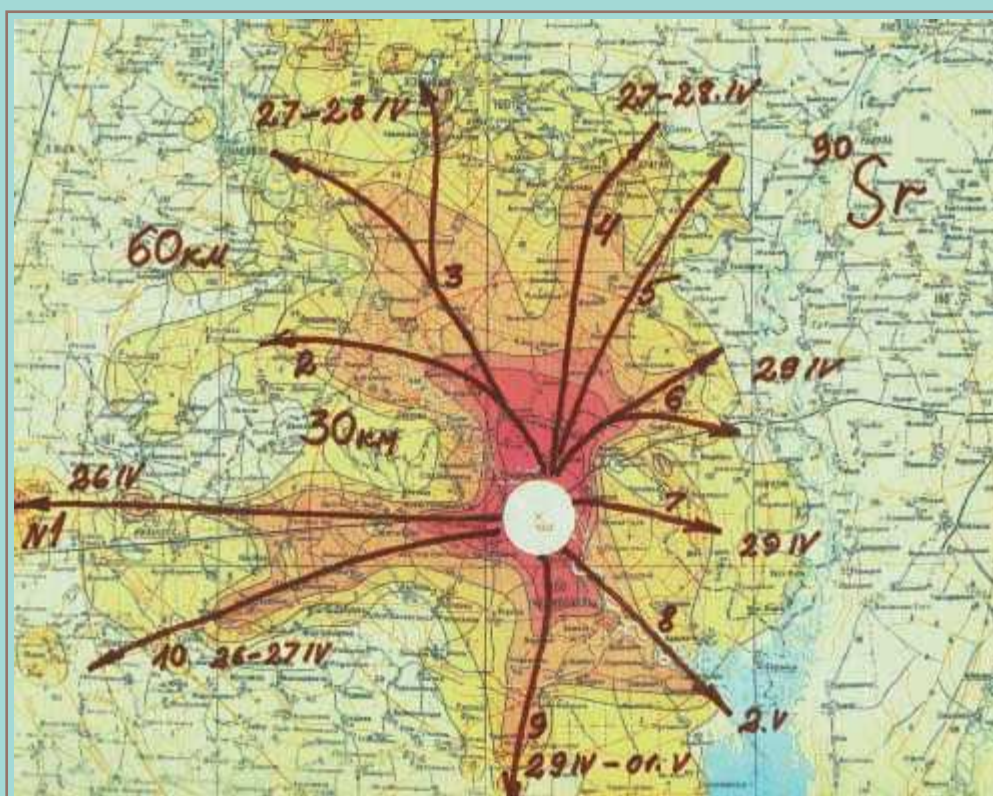


Академик РАН Ю. А. Израэль

Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции

(к 20-летию аварии)



Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и Российской академии наук

Академик РАН Ю. А. Израэль

Радиоактивное загрязнение природных сред
в результате аварии на Чернобыльской
атомной станции

(к 20-летию аварии)

Москва
2006

**Израэль Ю. А. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции — М.: Изд-во «Комтехпринт», 2006. 28 с.
ISBN 5-89107-063-4**

В брошюре рассмотрены вопросы, связанные с радиоактивным загрязнением природных сред, произошедшим в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и поведением радионуклидов в природных средах. Брошюра подготовлена на базе огромного фактического материала, с учетом колоссальной двадцатилетней работы, долгих раздумий и многих обсуждений. Обсуждаются также исторические события, связанные с измерениями и исследованиями радиоактивных загрязнений и организацией этих работ в первые дни после аварии.

Об авторе

Академик РАН Ю. А. Израэль — один из наиболее выдающихся специалистов в области антропогенной климатологии и атомной метеорологии. Создатель систем мониторинга состояния природных сред, он внедрил их, прежде всего, на ядерных полигонах СССР и во время Чернобыльской аварии.

Ю. А. Израэль окончил в 1953 г. Среднеазиатский государственный университет (физический факультет). По окончании университета работал сначала в Геофизическом институте, а затем — в Институте прикладной геофизики Академии наук СССР, защитил кандидатскую диссертацию в 1963 г. и докторскую диссертацию в 1969 году. В 1974 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 1994 г. — действительным членом Российской академии наук. С 2000 г. является президентом Российской экологической академии. В 1969-1973 гг. он возглавлял Институт прикладной геофизики АН СССР, в 1971 г. стал первым заместителем, а с 1974 г. — начальником Главного управления гидрометеорологической службы при Совете министров СССР (ГУГМС). С 1978 г. по 1991 г. Ю. А. Израэль становится председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (Госкомгидромет), в организации которого он принял самое активное участие. С 1990 г. по настоящее время Ю. А. Израэль — директор Института глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук (ИГКЭ Росгидромета и РАН).



С 1978 г. по 1988 г. Ю. А. Израэль являлся депутатом Верховного Совета СССР.

Научная деятельность Ю. А. Израэля всегда была многогранна. Наибольший научный вклад Ю. А. Израэль внес в развитие таких наук, как ядерная геофизика, физика атмосферы, климатология, прикладная экология, океанология и география.

Он лично собрал и проанализировал обширные массивы экспериментальных данных о рассеянии и поведении радиоактивных выбросов после испытаний ядерного оружия (1954-1974 гг.).

Ю. А. Израэль лично участвовал в исследованиях, проводимых на атомных полигонах (1954-1970 гг.), после различных аварий, включая аварию на Чернобыльской атомной станции, где руководил работами по измерениям радиоактивного загрязнения. За эту работу он был удостоен ордена Ленина.

Материалы, связанные с исследованиями радиоактивности в природной среде, обобщены в монографии «Радиоактивные выпадения при ядерных взрывах и авариях» (издана в России в 1996 г., за рубежом — в 2000 г.).

Ю. А. Израэль впервые предложил и внедрил новую концепцию комплексного мониторинга окружающей среды. На основании этой концепции в СССР была создана Сеть наблюдения и контроля загрязнения природных сред и Сеть комплексного фоновый мониторинга окружающей среды. Основные результаты, полученные в этот период, были представлены Ю. А. Израэлем в его монографии «Экология и контроль состояния природной среды».

Ю.А. Израэль всегда проявлял большой интерес к исследованию Мирового океана. Академиком Израэлем совместно с сотрудниками ИГКЭ была разработана концептуальная модель фундаментального природного явления — ассимиляционной емкости морской экосистемы. Важным практическим результатом этих исследований стало создание теории морского биологического мониторинга. Они обобщены в ряде монографий.

Более десяти лет Ю.А. Израэль являлся сопредседателем советско-американской и советско-британской комиссий по охране окружающей среды, у нас в стране был председателем Государственных комиссий по Аральскому морю и озеру Байкал.

В 1978 г. он участвовал в формулировке новой концепции Всемирной климатической программы (Ю.А. Израэль 12 лет являлся вице-президентом ВМО).

С 1988 г. Ю.А. Израэль принимает активное участие в работе Межправительственной группы экспертов по изменению климата — МГЭИК. В настоящее время он является ее вице-председателем.

Особое внимание Ю.А. Израэлем уделялось научной обоснованности проблем, возникших при обсуждении положений Киотского протокола. В последнее время Ю.А. Израэль является председателем Междисциплинарного академического совета-семинара при президенте Российской академии наук «Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола», который сформулировал неспособность Протокола решать существующие климатические проблемы.

В 1992 г. ему была присуждена премия и золотая медаль Международной метеорологической организации — теперь ВМО (World Meteorological Organization — WMO). За работы в области исследования радиоактивности и загрязнения природной среды Ю.А. Израэль был награжден престижными международными научными наградами — премией ООН-ЮНЕП им. Са-сакавы (UNEP) и золотой медалью международного центра «Этторе Маджорана» (Италия). Он имеет российские научные награды — три премии имени Е.К. Федорова и золотую медаль им. В.Н. Сукачева Академии наук СССР за выдающуюся работу в области экологии. Ю.А. Израэль — лауреат Государственной премии (1981 г.) в области охраны окружающей среды, награжден многими государственными наградами, в том числе орденами «За Заслуги перед Отечеством» 4 и 3 степени.

В 2002 г. Ю.А. Израэль сформулировал идею о проведении Всемирной конференции по изменению климата. Это предложение было официально выдвинуто Президентом России В.В. Путиным на саммите «Большой восьмерки» в Генуе в 2002 г. Конференция была с большим успехом проведена в Москве осенью 2003 г. На конференции были представлены более 400 докладов отечественных и зарубежных ученых.

Научные идеи академика Ю.А. Израэля и его выдающиеся результаты нашли свое отражение в многочисленных публикациях, перечень которых составляет несколько сотен названий.

Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции

За прошедшие 20 лет после чернобыльской аварии была проведена объемная работа по мониторингу и исследованиям радиоактивного загрязнения атмосферы, земной поверхности, почв, воды в реках, водохранилищах, морях. Эти работы проводились в основном специалистами Госкомгидромета СССР (Институтами прикладной геофизики, Лабораторией мониторинга природной среды и климата, НПО «Тайфун», с 1990 г. — Институтом глобального климата и экологии Росгидромета и РАН и др.), а также специалистами АН СССР, Минздрава, Минобороны и др.; загрязнением растительности и сельскохозяйственной продукции — специалистами Минсельхоза; всеми проблемами, связанными с облучением человека и их последствиями, здоровьем человека — специалистами Минздрава СССР.

В процессе проведения работ готовились карты и схемы мощностей доз и плотностей загрязнения радионуклидами в различных районах зон чернобыльской аварии и прилегающих территорий, а далее для всей Европейской территории СССР (впоследствии Российской Федерации), списки сел с различными уровнями загрязнения долгоживущими радионуклидами, рекомендации и заключения о возможности проживания людей в этих зонах, осуществления дезактивации, ведения сельскохозяйственных и иных работ. Проводились важнейшие обобщения выработки рекомендаций по допустимым нагрузкам — уровням радиации и концентрациям радиоактивных веществ для человека, вырабатывались соответствующие критерии для проживания или эвакуации населения.

Изложенные соображения будут касаться главным образом радиоактивного загрязнения природных сред, поведения радионуклидов в природных средах, не затрагивая медицинских проблем и мер, связанных с агропромышленным и хозяйственными секторами человеческой деятельности.

Мониторинг и исследования проводились в следующих аспектах (хронологически этот порядок был смещен в первое время в сторону мониторинга и прогнозов мощностей доз и концентраций радионуклидов в природных средах).

1. Разведка радиоактивного загрязнения (этот термин в настоящее время почти не используется; практически речь идет о мониторинге радиоактивного загрязнения в самом широком смысле. Укажем, что термин «мониторинг» был введен в СССР автором в 1974 г.):

- а) Наземный отбор проб и дальнейший химический и радиационный (включая гамма-спектрометрический) анализ.
- б) Отбор проб из атмосферного воздуха (из облака и струй ядерного взрыва и аварий, «шлейфа» облака с последующим анализом.
- в) Отбор проб воды из рек, озер, водохранилищ, морей с последующим анализом.
- г) Аэрогамма-съемка радиоактивных следов облака и струи.
- д) Аэрогамма-съемка радиоактивного облака и струи
- и) Зона разрушенного реактора.

Исторически наибольшее развитие методов радиационного мониторинга происходило в 1954-1963 гг. на Семипалатинском и Новоземельском атомных полигонах; во время Чернобыльской аварии широко использовался накопленный в эти годы опыт, но сам метод существенно совершенствовался. Результаты съемок интерпретировались в виде картографических материалов.

2. Исследования радиоактивного загрязнения природных сред. Мониторинг включает в себя наблюдения, анализ и прогноз состояния среды и, конечно, связан с исследованиями. Однако, в этом разделе основное внимание будет уделено исследованиям.

- а) Исследования состава (и фракционирования) радионуклидов после аварии.
- б) Исследование распределения радионуклидов в атмосфере и на местности после черновильской аварии.
- в) Исследование связи распределения радионуклидов с метеорологическими условиями.
- г) Специфика загрязнений при ядерных взрывах и авариях.
- д) Исследование аэрозольных частиц-носителей радиоактивности.
- е) Растворимость и биологическая доступность радионуклидов при взрывах и авариях. Их сравнение.
- ж) Миграция радионуклидов.
- з) Поведение радиоактивных следов в различных ландшафтных зонах.
- и) Обобщение данных; картографические материалы.
- к) Особенности загрязнений при аварии на Чернобыльской АЭС (особая роль радиоактивного иода, поведение плутония, стронция, цезия и америция и др.).

3. Меры, принимаемые по снижению опасности воздействия радиоактивных излучений после аварии.

Использование всех сведений, полученных при мониторинге и исследованиях для уменьшения опасности воздействия радиоактивных излучений.

Использование данных, полученных при ядерных взрывах при мерах, принимаемых после аварии на Чернобыльской АЭС.

Основные этапы измерений (и исследований) специалистами Госкомгидромета радиоактивного загрязнения природных сред и организации этих работ изложены ниже в хронологическом порядке.

26 апреля утром, после сообщения Совета Министров УССР представитель Укргидромета Потуридис на вертолете произвел замеры радиационной обстановки в районе г. Чернобыль (им были измерены уровни радиации до 3 мр/час) и передал информацию в Киев и Москву (в Госкомгидромет). В Москве была создана оперативная группа, начался сбор информации с метеостанций — 26 апреля с Чернобыльской станции (3 мр/час) и со станций Киевской и Гомельской областей; с 28 апреля — со всех метеостанций Европейской территории (пгт. Полесский — 11-12 мр/час, г. Брагин, 27-29 апреля — 18-24 мр/час; 30 апреля — до 46 мр/час; в Злынке (Брянская обл.), 30 апреля — 0,9-1,4 мр/час, Плавске (Тульская обл.) — 1,5-2,7 мр/час, в Киеве, 30 апреля — до 2,2 мр/час, Гомеле, 30 апреля — 0,5 мр/час, Чернигове, 30 апреля — 0,4 мр/час.

27 апреля (а затем и 28 апреля) на специально оборудованном самолете АН-30РР (В. Н. Петров и А. Б. Иванов) были проведены измерения гамма-излучения в струе радиоактивных продуктов, выходящих из разрушенного реактора на высоте до 1500 м и расстоянии до 40-50 км (уровни радиации от 2000 до 5 мр/час) и были отобраны пробы на фильтры, установленные в гондолах.

Воздушные массы, двигавшиеся 26 апреля на запад, 27 апреля на север и северо-запад, 28-29 апреля от северного направления повернули на восток, юго-восток и далее юг 30 апреля (на Киев).

Можно сказать, что городам Припять и Киев «повезло» (каждому в своих масштабах) — через г. Припять при развороте ветра с севера на северо-восток загрязненные воздушные массы быстро «проскочили» город, и доза, полученная населением на небольшом расстоянии от места аварии, была немногим более 1 рентгена. В Киев же загрязненные воздушные массы дошли только на пятый день, обусловив незначительное загрязнение города, доза за весь первый год для населения составила около 0,3 бэра (рентгена).

29 апреля, на первом заседании оперативной группы ЦК КПСС было принято решение о срочном командировании в район аварии Председателя Госкомгидромета Ю. А. Израэля с поручением «организовать четкую и достоверную информацию об уровнях радиации на отдельных территориях».

Госкомгидрометом в эти дни была организована аэрогамма-съемка всей европейской территории СССР (начиная с 10 км расстояния от атомной станции, внутри этой зоны измерения проводили дозиметристы ЧАЭС и химические войска).

Первая карта-схема радиоактивного загрязнения земной поверхности была составлена 1 мая 1986 г., когда можно было в какой-то степени отделить излучения от струи и поверхностного загрязнения. Эта карта была передана в Правительственную комиссию. 2 мая 1986 г. с использованием этих данных на выездной сессии оперативной группы Политбюро ЦК КПСС в г. Чернобыль Н. И. Рыжковым было принято решение об эвакуации населения из 30-км зоны (до этого была эвакуирована 10-км зона). При обсуждении Председатель Госкомгидромета настаивал на отселении населения именно из 30-км зоны, и с территории «оконтуренной» изолинией 5 мр/час (перечитанных на 10 мая 1986 г.), где доза облучения могла достигнуть 10 бэр (установленный Минздравом СССР в качестве аварийного предела дозы для населения). Эвакуация населения из 30-км зоны была проведена в основном 4 мая, а несколько позже — из зон с мощностью дозы выше 5 мр/час, простиравшихся на запад до 75 км и на север — до 45-60 км.

В мае проводилась интенсивная гамма-съемка загрязнения местности, а также измерения различных радионуклидов в атмосфере, на земной поверхности, воде рек и Киевского водохранилища. Были продолжены составления уточненных карт радиоактивного загрязнения. 21 мая Госкомгидромет направляет на имя Председателя Совета Министров Н. И. Рыжкова записку (подготовленную по его поручению) «Об оценке радиационной обстановки и радиоактивного загрязнения природной среды при аварии на Чернобыльской АЭС». Ниже приводится текст этой записки:

Председателю Совета Министров СССР тов. Рыжкову Н. И.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС около 5 проц. радиоактивных продуктов, накопившихся за 3 года работы в реакторе, вышло за пределы промышленной площадки станции.

Из образовавшегося облака сформировался радиоактивный след на местности в западном и северном направлениях (в соответствии с метеорологической обстановкой). Затем из зоны реактора в течение нескольких дней истекала мощная струя газообразных и летучих продуктов. Через 12 дней после аварии струя за пределами станции практически не обнаруживалась, ее интенсивность уменьшилась в 100-1000 раз.

Авиационными (5 самолетов и 3 вертолета) и наземными средствами Госкомгидрометом осуществлена детальная радиационная съемка загрязнения атмосферы и местности. Непрерывная съемка загрязненной территории продолжается.

Вся наземная метеорологическая сеть европейской территории страны подключена к наблюдениям за радиоактивностью. Зона существенного загрязнения местности (с уровнем радиации более 5 мР/час) простирается на запад на удаление 75 км, на север — 60 км от АЭС, ее площадь составляет около 3000 км².

Изучен изотопный состав загрязнения атмосферы и местности — основными компонентами загрязнения являются изотопы йода-131, теллура-132, стронция-89, нептуния-239, рутения-103, стронция-90. В первые недели особую опасность представляет изотоп йода-131 (содержание 10-50 проц.), легко попадающий в организм человека с пищей (особенно с молоком), затем — изотопы стронция-89 (период полураспада 2 месяца), стронция-90 (28 лет) и цезия-137 (30 лет).

На загрязненной территории обнаружено большое число высокоактивных «горячих» частиц, представляющих большую опасность при попадании в легкие при пылеобразовании. Особую опасность при попадании в легкие представляет изотоп плутоний-239, также обнаруженный на загрязненной местности.

Авиационная разведка и наземные измерения показали, что радиационные продукты в первые 4-5 дней после аварии распространились на большие расстояния в различных направлениях (в соответствии с метеорологической обстановкой). Повышение уровней загрязнения (выше фоновых в 10-50 раз) наблюдались практически по всей юго-западной части европейской территории СССР. Площадь с уровнем радиации более 0,2 мР/час превысила 200 тыс. км².

Небольшое количество радиоактивных продуктов ветрами распространилось на территории Румынии, Польши, Болгарии, Югославии, Скандинавских стран — в количестве, не представляющем никакой опасности для здоровья населения. Максимальные уровни радиации на границе с Румынией и

ПНР не превышали 0,15-0,2 мР/час. Такие же уровни наблюдались и на территории Румынии, Болгарии и Польши. На территориях других названных стран загрязнение было значительно меньше.

Во всех странах подъем уровня загрязнения природных сред был кратковременным и значительно меньшим существующих норм, в том числе рекомендованных МАГАТЭ для случаев аварий на АЭС.

В последующие дни радиационная обстановка повсеместно стабилизировалась — истечение газовых и летучих продуктов из зоны реактора существенно уменьшилось, атмосферное загрязнение рассеялось, в загрязненной зоне происходит уменьшение радиоактивности в соответствии с распадом, существенное повышение радиоактивности в загрязненных зонах практически исключено.

Общее количество радиоактивности, выпавшей на ближнем (около 100 км) следе, оценивается в 10^7 Ки, на дальнем следе — $1,4 \cdot 10^7$ Ки (всего около $2,4 \cdot 10^7$ Ки).

Наиболее острым вопросом радиационной обстановки и ее возможных последствий в районе Чернобыльской АЭС в настоящее время (середина мая) и в ближайший период становится вопрос радиоактивного загрязнения поверхностных вод и источников водоснабжения.

Первый пик увеличения радиоактивности воды был связан с непосредственным выпадением радиоактивных продуктов из облака и струи на зеркало водоемов. Эта радиоактивность падает, происходит ее разбавление новыми потоками чистой воды, в Киевском водохранилище радиоактивность 20 мая не превышала $(1-2) \cdot 10^{-9}$ к/л.

Следующую волну радиоактивности следует ожидать со смывом радиоактивных веществ дождевыми осадками. При смыве дождями радиоактивности со следа можно ожидать ее появления в р. Припять и других мелких реках в районе загрязненной местности и Киевском водохранилище и ниже по Днепру.

При этом концентрация в Киевском водохранилище может в 5-10 раз превышать норму (но будет находиться в пределах норм, установленных для случаев аварий на АЭС, при условии, если будет исключен центральный источник загрязнения — сток радиоактивности с промплощадки и прилегающего участка (площадью около 20 км²) с поверхностными и подземными водами.

Этот участок в основном обвалован, чтобы не допустить поверхностного стока с него в р. Припять. Однако этого недостаточно в связи с очень малым расстоянием до стариц р. Припяти и возможной фильтрацией в них загрязнения с подземными водами. В связи с этим было предложено создать в грунте стену вокруг площадки (специальным грейфером прорывается траншея на глубину до 25-70 м и заливается раствором глины и цемента). Такая стена полностью исключает сток и миграцию радиоактивности с подземными водами.

В случае изоляции зоны промплощадки сток радиоактивности со всего следа в течение года не превысит общей радиоактивности, попавшей в воду при прохождении облака.

Госкомгидрометом, Минздравом СССР и Министерством обороны СССР разработаны рекомендации по критериям возможности проживания и необходимости эвакуации населения с загрязненной территории с учетом внешнего и внутреннего облучения, в том числе опасными долгоживущими изотопами, попадающими в человека с пищей, — стронцием-90 и цезием-137.

Территория с уровнем радиации более 5 мР/час на 10 мая 1986 г. признаны опасными для проживания населения, требующими временного выселения (площадь такой территории составляет 2900 км²).

На территории с уровнем радиации менее 5 мР/час (примерно до 0,5 мР/час) требуется введение жесткого контроля за радиоактивностью продуктов питания, особенно молока.

Таким образом, в некоторых небольших районах с уровнем радиации более 5 мР/час за пределами 30-км зоны требуется дополнительная эвакуация населения. Территории с уровнем радиации более 20 мР/час признаны непригодными для проживания населения и ведения сельского хозяйства (даже вахтовым методом) и должны быть отчуждены на длительное время (площадь этой зоны составляет около 900 км²). В этой зоне основную опасность определяет наличие большой плотности загрязнения долгоживущим стронцием-90 (более 10 Ки/км²).

В этой зоне возможна организация заповедника и необходимо ведение научных исследований трансформации и миграции радиоактивных веществ, широких радиоэкологических исследований. При осуществлении широкого комплекса мероприятий по обеспечению безопасности выселения и ведения хозяйства в загрязненных зонах следует максимально использовать опыт, накопленный после уральской аварии 1957 г. На обширной загрязненной территории и водных системах, связанных с этой территорией, необходимо осуществление регулярного контроля за радиоактивностью природной среды. Такой контроль осуществляется и должен осуществляться и впредь органами Госкомгидромета и ряда других ведомств.

Подпись: Председатель Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды Ю. А. Израэль. 20 мая 1986 г.

В этой записке показаны результаты широкомасштабных измерений и исследований радиоактивного загрязнения после Чернобыльской аварии, освещены все значимые стороны этой огромной проблемы. Из записки видно, что уже к 20 мая 1986 года имелась серьезная научная база для всесторонней оценки происшедшей аварии с учетом ее весьма крупных масштабов.

Данные, изложенные в записке и всех оперативных документах (картах, других записках) были достаточно полно использованы руководством при принятии ответственных решений в центре и на местах.

На всех заседаниях Оперативной группы Политбюро ЦК КПСС (на 37 заседаниях — с 29 апреля 1986 г. по 4 января 1987 г.) заслушивались доклады председателя Госкомгидромета (или его первого заместителя в случае командирования председателя в Чернобыль) о радиационной обстановке в результате аварии.

На заседаниях оперативной группы были рассмотрены несколько важных специальных записок Росгидромета (как правило, подготовленных совместно с Минздравом СССР и Минобороны).

Наиболее существенными из них были записки об установлении различных по опасности зон в районах загрязнения: зон с уровнем радиации менее 3 и менее 5 мР/час — зон жесткого контроля и частичной эвакуации, зоны с уровнем радиации от 5 до 20 мР/час — зоны с временным отселением на год и более, и зоны с уровнем радиации более 20 мР/час — зона отчуждения, где проживание населения исключается.

Там же были введены вспомогательные предельные нормы (критерии) для проживания населения (по плотности загрязнения) — 3 Ки/км² по ⁹⁰Sr и 7 Ки/км² (а позднее 15 Ки/км²) по ¹³⁷Cs.

Несколько позже был введен критерий и по ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 0,1 Ки/км² (с учетом пылеобразования и возможного попадания изотопов плутония в организм человека ингаляционным путем). Было сформулировано несколько записок о нецелесообразности преждевременного возвращения эвакуированного населения.

В результате тщательного анализа полученного при измерениях и исследованиях радиоактивного загрязнения природных сред после Чернобыльской аварии, кроме огромного фактического материала были оперативно вскрыты и дезавуированы существенные ошибочные суждения, некоторые из которых были распространены в первое время после аварии, а некоторые попали даже в солидные научные документы. Наиболее крупные «недоразумения» описаны ниже.

Кроме наших рентгенометрических измерений приводились измерения рядом других ведомств, а также были массовые попытки измерений неофициальных, частными лицами. Им был доступен выпущенный незадолго до аварии геологический прибор «Кристалл» — чувствительный прибор, который четко фиксировал радиоактивные излучения. Для повышения чувствительности там был использован сцинтилляционный датчик — кристалл NaI(Tl). Этот прибор был достаточно чувствительным, но он не мог правильно измерять мощность дозы, т.к. его показания сильно зависели от энергии гамма-излучения и искажали показания на Чернобыльском следе по сравнению с воздухоэквивалентным датчиком в 2-3 раза в сторону увеличения. Это давало повод для многих протестов и необоснованных требований. Специалисты же Госкомгидромета проводили измерения с помощью воздухоэквивалентных датчиков — в том числе с использованием органических сцинтилляционных датчиков.

В первые же дни после аварии для проверки возникающих вопросов и недоразумений была организована комиссия на высоком уровне — под председательством академика Анатолия Петровича Александрова — Президента Академии наук СССР. Анатолий Петрович быстро разобрался с этим вопросом и сообщил в Оперативную группу Политбюро — Долгих В. И., категорически: «Израэль меряет правильно!». На этом вопрос был закрыт.

Радиоактивность при аварии была выброшена в значительном количестве, далее продолжалось «истечения» продуктов взрыва вплоть до 6 мая (небольшое количество вышедших из реактора продуктов наблюдалось и позже). Данные об общем выбросе топлива и радиоактивности нередко подавались в искаженном виде. «Реактор же четвертого энергоблока Чер-

нобыльской АЭС вышвырнул в атмосферу пятьдесят тонн испарившегося топлива...» — пишет Г. Медведев в своей повести «Чернобыльская тетрадь», в которой претендует на серьезную техническую оценку случившегося. Из специальной литературы известно, что для испарения аналогичного количества грунта при ядерном взрыве требуется энерговыделение, эквивалентное энергии взрыва мощностью в 1000 тонн тротила. В то же самое время известно, что во время разрушения IV энергоблока Чернобыльской АЭС кратковременно выделилась энергия, эквивалентная 4 тоннам тротила, и взрыв не был ядерным.

К вопросу об общем выбросе радиоактивных продуктов при аварии (и выброшенных различных радионуклидов). Высказывалось мнение, что общий выброс радиоактивных продуктов достигал 100-300 МКи. К такой цифре нужно относиться с осторожностью. Такая оценка может быть проверена лишь при указании времени, к которому ведется пересчет. Особенно высокая цифра получится, если пересчет ведется на начальный момент или даже к интегралу за весь период истечения.

Что касается официальных цифр, приведенных советскими авторами, то на 6 мая 1986 г. общая активность выброса (без благородных газов) составила 50 МКи (с погрешностью оценки в 50%) [1,2]. Эта цифра наиболее близка к цифрам, полученным при интегрировании выпавшего на земную поверхность вещества (при этом общее количество выпавшего радиоактивного вещества было оценено в 3-4%). Именно эта цифра была сообщена советскими экспертами в их официальном отчете МАГАТЭ в августе 1986 г. [1].

Необходимо отметить, что высокие называемые цифры (по сравнению с величиной 50 МКи на 6 мая) приводили к мысли, что и мощность дозы (и доза) на чернобыльских следах занижены в несколько раз.

Однако, такие суждения совершенно ошибочны, т.к. мощности дозы (а затем и рассчитанная доза) были получены для конкретных территорий с конкретными величинами плотностей загрязнения, которые никак не могли меняться в зависимости от методики подсчета первоначального выброса.

Что касается доли различных изотопов, выброшенных при аварии из разрушенного реактора, то они составили (по различным оценкам [3]) для йода — большинство оценок 20-25%, некоторые до 60%, для цезия — от 9 до 33%, по данным интеграла ^{137}Cs по территории всей Европы — 14%; тугоплавкие изотопы (в том числе и трансурановых элементов) 2-3,5%, по данным Кашпарова — около 1%, для суммы всех изотопов (без благородных газов на 6 мая 1986 г.) — 3-4% [1] (наши первые оценки — представленные 20 мая 1986 г. на имя Н.И.Рыжкова составляли 5%). Очевидно, что утверждение об общем выбросе ядерного горючего и продуктов деления в количестве 50-60% является грубо ошибочным.

Очень четко прослеживается разница в выпадениях тугоплавких (в том числе трансурановых) элементов на различных расстояниях — тугоплавкий $^{239+240}\text{Pu}$ был практически ограничен 30 км зоной (с небольшими пятнами значимых при оценке опасности облучения за пределами этой зоны), ^{90}Sr — 60 км зоной (в основном 30-км зоной). Это корректирует оценку МАГАТЭ [4], где утверждается, что существенное распространение этих изотопов происходило в пределах 100 км от места аварии.

Общепризнано мнение о дальнем распространении цезия. Летучие изотопы Cs (134, 136 и 137) распространились на огромные расстояния — значительное количество по всей Европе, и были обнаружены в большинстве стран и в океанах Северного полушария [5].

С другой стороны, многочисленными квалифицированными измерениями были своевременно обнаружены методические ошибки по измерениям некоторых других радионуклидов, которые могли привести и даже привели к неверным выводам и рекомендациям.

Так, летом 1986 г. Укрсельхоз, используя на Чернобыльском следе методику, разработанную для измерений ^{90}Sr глобального происхождения, резко завысил данные по плотности загрязнения территории этим радионуклидом, включив в эту фракцию более короткоживущие «свежие» радионуклиды (вместе с долгоживущим ^{90}Sr). Затем эта активность целиком приписывалась ^{90}Sr и в результате получались значения по ^{90}Sr , завышенные в 40-50 раз. В частности в районе

Зеленого мыса была таким образом «определена» плотность загрязнения по ^{90}Sr , равная 8 Ки/км². Этот результат снял вопрос о возможности строительства в этом районе городка для энергетиков атомной станции.

Межведомственный совет по проблеме радиоактивного загрязнения природных сред после Чернобыльской аварии, исправил ошибки Укрсельхоза по завышенным значениям ^{90}Sr (посылалась комиссия экспертов на места для конкретных измерений), после чего были подтверждены данные, полученные Госкомгидрометом, Украинской Академией наук, Институтами АН СССР.

В 1986 г. и весной 1987 г. серьезные опасения особенно у украинских коллег, вызывал возможный весьма значительный смыв выпадающими дождями (а весной 1987 г. и паводковыми водами) радиоактивных продуктов с земной поверхности в р. Припять и Днепроовское водохранилище. Это могло представить серьезную угрозу нормальному водоснабжению г. Киева и даже нижележащим (по Днепру) городам. Высказывалось предположение о весьма существенном, практически полном смыве радиоактивных продуктов с образовавшегося следа. В связи с этим началась даже перестройка Киевского водопровода.

Прогноз Госкомгидромета, представленный 7 мая 1986 г. Председателю Правительственной комиссии Силаеву И. С. утверждал на основании материалов по смыву радиоактивности при ядерных взрывах, что общий смыв с чернобыльского следа в 1986 и 1987 гг. не превысит 3-4% (по ^{90}Sr), и не приведет к превышению установленных норм (по концентрации в воде).

Экспериментальные данные, полученные на значительной территории в 1986 г. [6] показали, что смыв радиоактивности в реки и Днепроовское водохранилище в 1986 г. не превысил 1%. Данные Вакуловского С.М. показали, что смыв ^{90}Sr в 1986 г. составил менее 0,5%, в 1987 г. (с учетом весеннего паводка) — около 1%, в 1988 г. — около 2%, в 1989-1991 гг. менее 1% ежегодно. Это подтверждало самый первый прогноз Госкомгидромета, снимало серьезное напряжение в этой проблеме — концентрация ^{90}Sr (а также других долгоживущих радиоактивных продуктов) в результате смыва не превысила установленных нормативов (ДКБ). Величина ДКБ по ^{90}Sr $4 \cdot 10^{-10}$ к/л была достигнута в р. Припять и была несколько превышена по ^{131}I и ^{140}Ba в результате выпадения радиоактивности в начале мая непосредственно на водную поверхность.

Еще в начале мая особое внимание уделялось оценке уровней радиации и доз облучения в Киеве. Здесь по неизвестным причинам поползли нелепые слухи: «Говорят... в первые три дня после взрыва активность в Киеве достигала ста миллирентген в час (Г. Медведев, повесть «Чернобыльская тетрадь») — а в Киеве в это время радиации от Чернобыльской аварии практически не было.

Народный депутат СССР Ю. Щербак утверждал, что уровень радиации в Киеве превышал в 100 раз предельно допустимые нормы. На самом деле уровень радиации превысил естественные фоновые значения, но был ниже установленного Минздравом СССР допустимого значения.

По данным Госкомгидромета средние уровни радиации в Киеве составляли (мр/час):

Таблица 1. Средние уровни радиации в г. Киев с 26 апреля по 7 мая 1986 г.

Дата	26.04	26.04	28.04	29.04	30.04	01.05	02.05	03.05	04.05	05.05	06.05	07.05
Средние уровни радиации, мр/час	Фон	Фон	0,07	0,075	1,4	0,61	0,25	1,0	0,85	0,45	0,53	0,7

Максимальные уровни радиации в момент прохождения загрязненных воздушных масс в Киеве отмечены 30 апреля в 13.00 и составляли: Жуляны — 0,5; Гидропарк — 1,5 и проспект Науки — 2,2 мр/час.

В связи с напряженной обстановкой в Киеве Политбюро ЦК Компартии Украины 7 мая 1986 г. специально обсуждало этот вопрос, включая предложение об эвакуации всего населения из Киева [7].

На заседание были приглашены эксперты: Председатель Госкомгидромета Ю. А. Израэль и вице-президент Медицинской Академии наук СССР Л. А. Ильин. Эксперты выступили с утверждением, что «анализ радиационной обстановки в г.Киеве свидетельствует об отсутствии в

настоящее время показаний к эвакуации населения». Многие члены политбюро придерживались иного мнения. По предложению политбюро Ю. А. Израэль и Л. А. Ильин изложили свою точку зрения в виде справки, где высказали свои соображения в развернутом виде и рекомендаций. Эксперты исходили из результатов наблюдения за радиационной обстановкой, уменьшением уровней радиации в Киеве после 30 апреля и учитывая прекращение основного выброса из разрушенного реактора 6 мая 1986 г. По их расчетам возможная средняя доза для населения г. Киева в первый год после аварии составит менее 1 бэра (а вероятнее всего 0,5 бэра), что существенно меньше допустимой дозы, установленной Минздравом СССР для аварийной обстановки. Укажем, что фактическая средняя доза для населения г. Киев, определенная впоследствии, составила 0,3 бэра за первый год после аварии.

Рекомендации, представленные экспертами в письменном виде, в несколько сокращенном виде приведены ниже:

1. Радиационная обстановка в г. Киев, Киевской и прилегающих Житомирской, Черкасской, Черниговской и Кировоградской областях в связи с аварией атомного реактора 4 блока Чернобыльской АЭС требует пристального внимания и тщательного контроля.

2. Систематический анализ поступивших данных о радиационной обстановке и уровнях облучения населения потребовали принять меры по эвакуации населения из районов 30-километровой зоны вокруг Чернобыльской АЭС.

.....

4. Анализ радиационной обстановки в г. Киев свидетельствует об отсутствии в настоящее время показаний к эвакуации населения, и, в частности, детей в другие районы.

Вывоз детей на отдых на летние каникулы (в пионерские лагеря, санатории, пансионаты) представляется целесообразным осуществить в обычном порядке, в районы южнее г. Киев и в другие области.

.....

7. Представляется целесообразным осуществить в ближайшее время серию передач по телевидению, радио и в республиканской печати с участием ведущих ученых-медиков и экологов. При этом иметь в виду спокойное, обоснованное представление о объективной, тщательно взвешенной информации с учетом новейших научных данных и существующих регламентаций.

Подписи: Председатель Госкомгидромета, член-корреспондент АН СССР Ю. А. Израэль
Вице-президент АМН СССР, академик АМН СССР Л. А. Ильин
7 мая 1986 г.

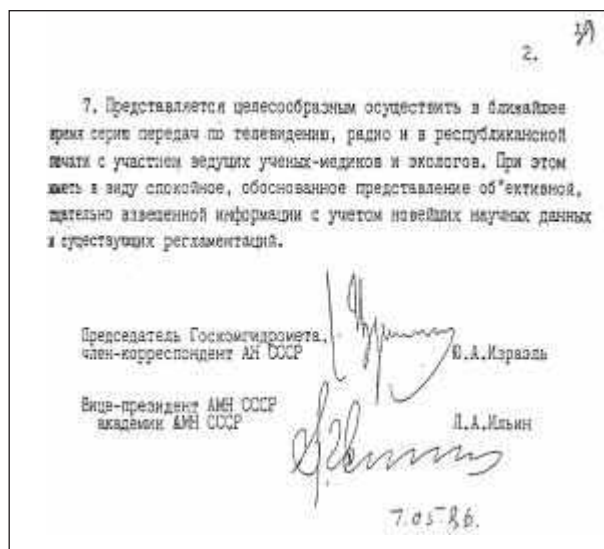
(На прилагаемом рисунке см. факсимиле последнего пункта Рекомендаций и подписей).

На основании представленных данных было принято решение эвакуацию населения из г. Киев не проводить (п. 4). Вывоз детей школьного возраста (в пионерские лагеря, санатории, пансионаты) был осуществлен с 8 мая; к сожалению, вывоз детей дошкольного возраста в организованном порядке из Киева не проводился.

Пункт 7 Рекомендации об осуществлении в ближайшее время серии передач по телевидению, радио и в республиканской печати с участием ведущих ученых-медиков и экологов не был реализован вообще.

В заключительной части доклада в сжатой форме описаны общие результаты по радиоактивному загрязнению природных сред, полученные после самых первых дней после аварии.

Эти результаты являлись надежной базой для принятия эффективных мер по ликвидации последствий аварии — во всех секторах экономической, социальной, медицинской деятельности.



Факсимильная записка Ю. А. Израэля и Л. А. Ильина

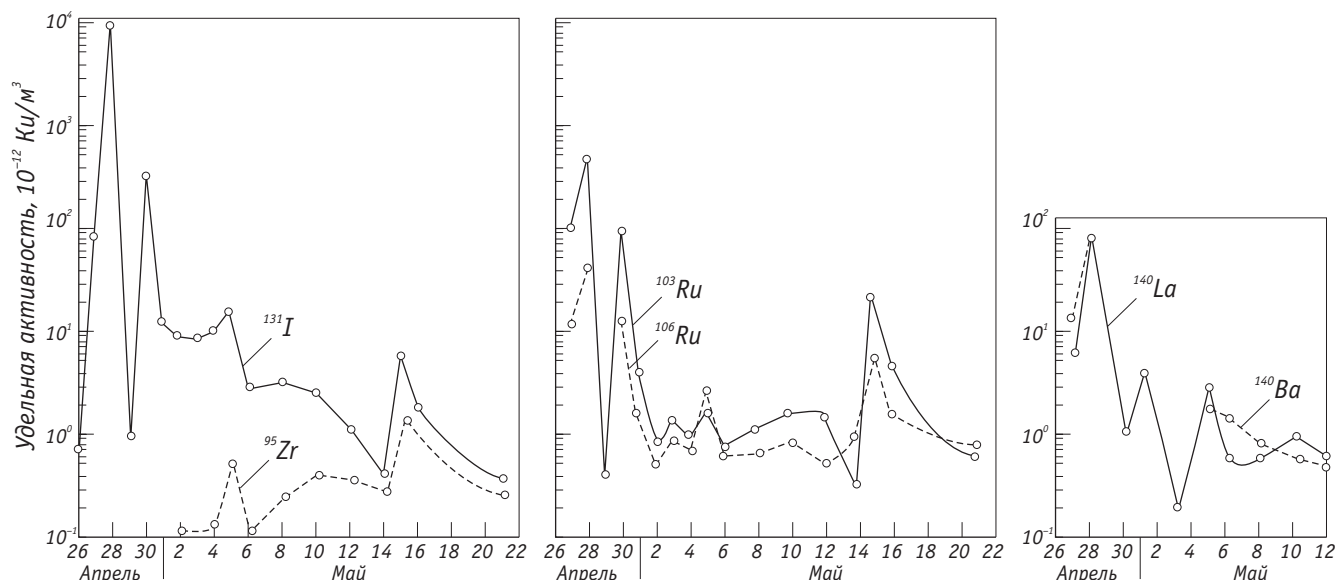


Рис. 3. Изменение во времени концентрации различных радионуклидов в воздухе в районе Березинского заповедника

Атласа, рис. 6) и областей России. И атлас с детальными картами радиоактивного загрязнения стран Европы «Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии» [12] и В первом атласе кроме загрязнения местности цезием-137 приведены детальны карты мощности дозы по состоянию на 10 и 29 мая 1986 г. и в 60 и 30 км зонах вокруг ЧАЭС загрязнения стронцием-90 (рис. 7), плутонием-238,239,240 (рис. 8), америцием-241 (рис. 9), кюрием-244, церием-144, рутением-106 и цезием-134.

Доля выброшенного из реактора и выпавшего на территорию Европы цезия-137 составила около 15% от его количества, накопившегося в реакторе к моменту аварии, или $6,4 \cdot 10^{16}$ Бк. Около $4,7 \cdot 10^{16}$ Бк из этого количества выпало на европейской территории СССР [13].

Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии, созданный в рамках программы Европейской Комиссии «Международное сотрудничество по изучению последствий Чернобыльской аварии», вышел в свет 15 июля 1998 г. [15].

Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины, созданный по государственной программе «Атлас» Росгидромета и Роскартографии, вышел в свет 1 октября 1998 г. [12].

Создание и публикация этих атласов является важным результатом развития нового научного направления — картографирования радиоактивного загрязнения.

Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины включает 74 карты радиоактивного загрязнения.

«Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии» базировался на результатах долговременной деятельности большого числа специалистов из различных организаций практически всех стран Европы. Европейская Комиссия возглавила подготовку этого произведения, отражающего новую важную экологическую проблему современного мира, возникшую после Чернобыльской аварии. Развитие теоретических основ нового научного направления — картографирования радионуклидного загрязнения — осуществлялось в Институте глобального климата и экологии. Специалисты с Украины и из Белоруссии внесли особый вклад в создание Атласа, предоставив большой объем данных по территориям своих государств, наиболее пострадавшим от Чернобыльской аварии.

В создании Атласа загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии приняли участие 30 стран. При подготовке Атласа было продемонстрировано высокое информационное обеспечение карт на территории нашей страны, которое является итогом функционирования системы радиационного мониторинга.

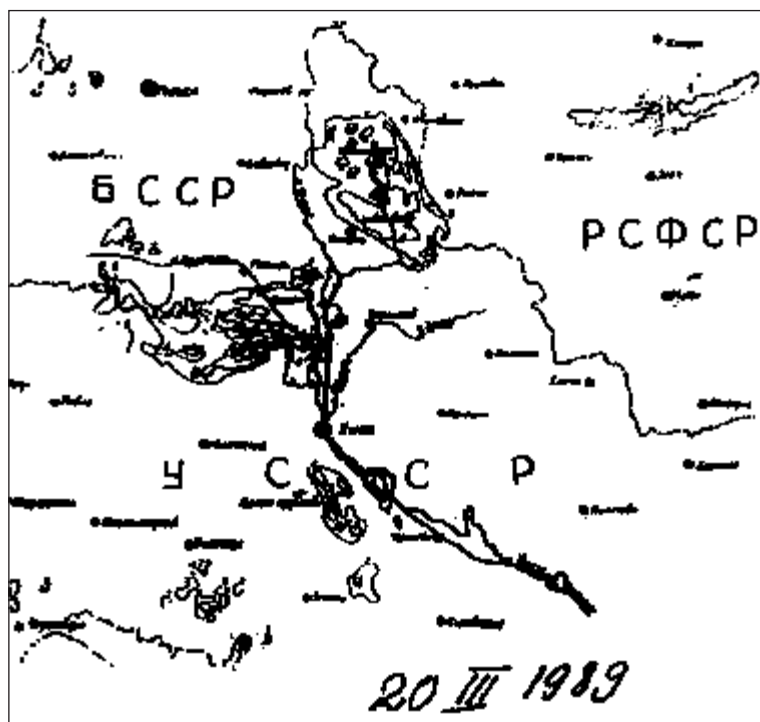


Рис. 4. Первая официально опубликованная карта загрязнения местности цезием-137 (газета «Правда», 20.03.1989)

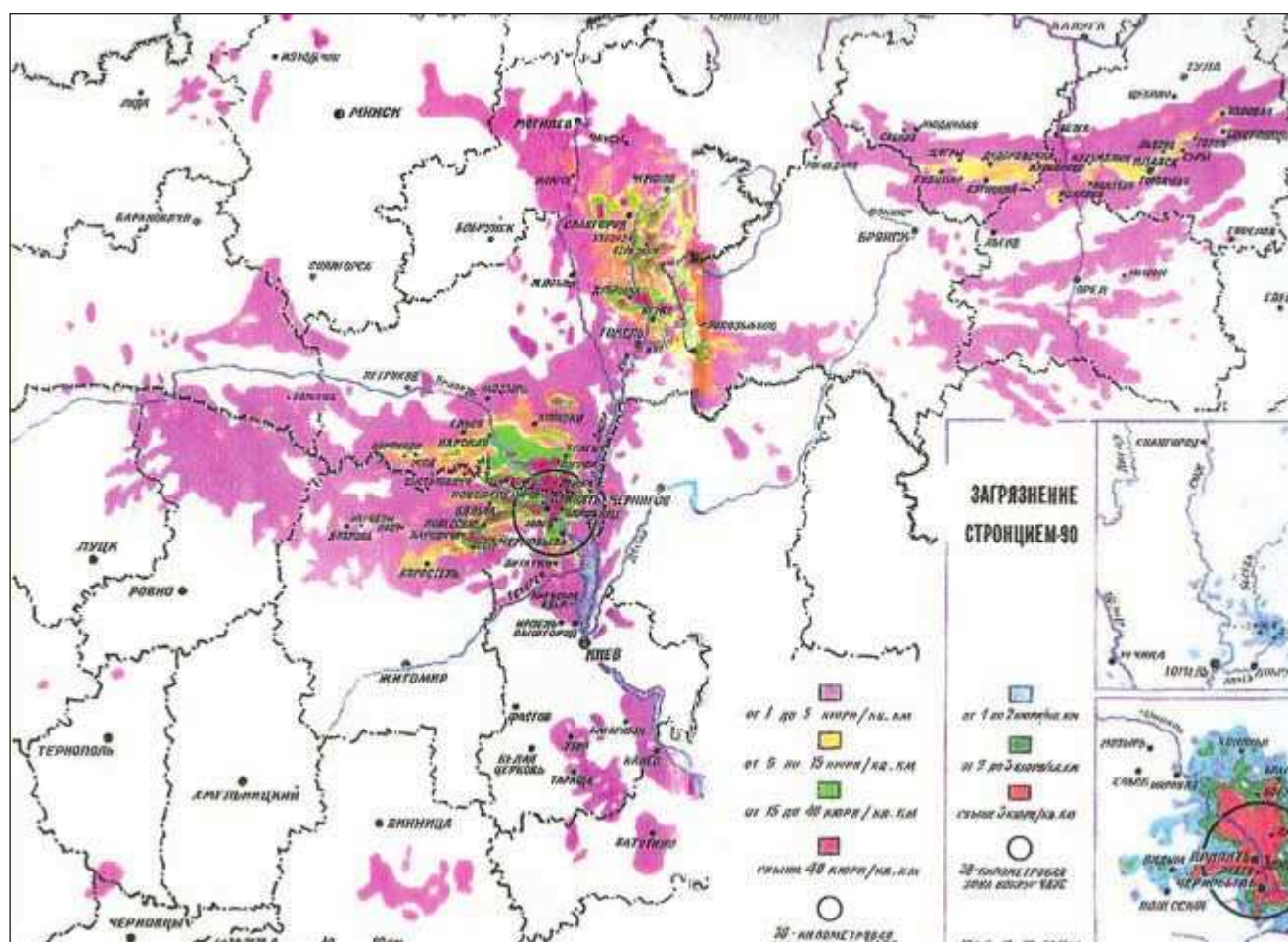


Рис. 5. Уточненная карта загрязнения местности цезием-137 и первая официальная карта загрязнения местности стронцием-90 (журнал «Наука и жизнь», № 9, 1990)

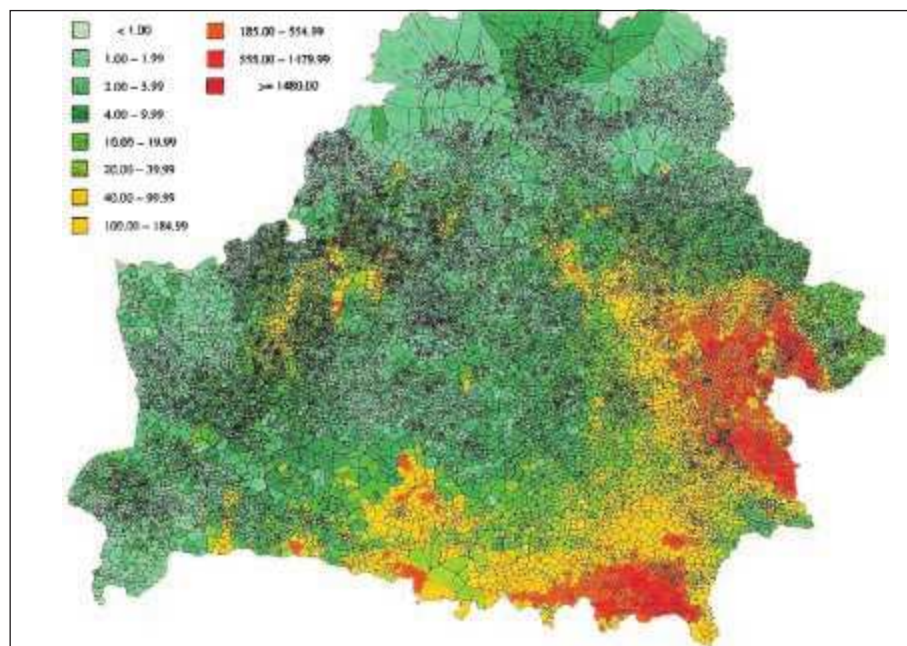


Рис. 6. Детальная карта загрязнения цезием-137 территории Беларуси (кБк/м²)

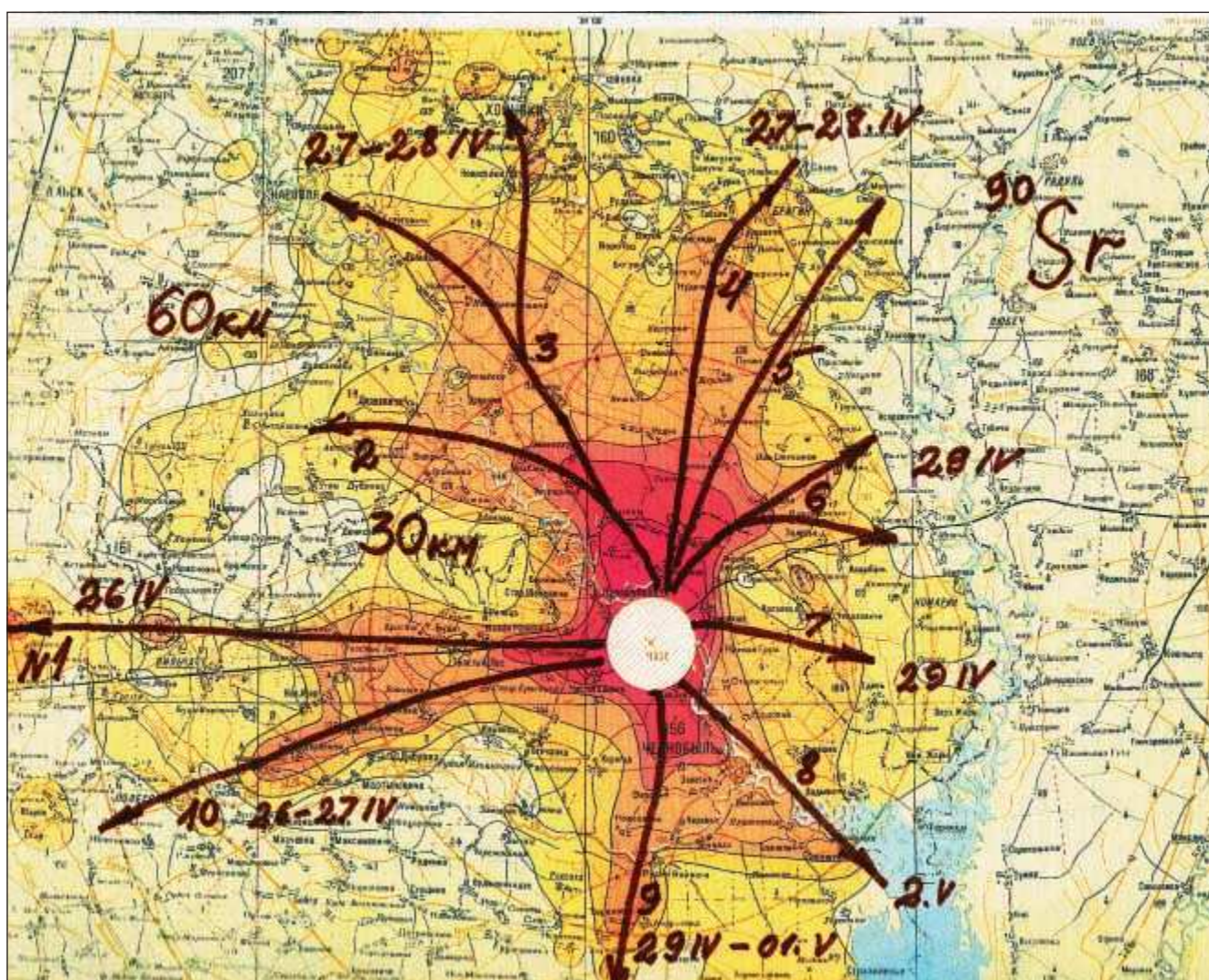


Рис. 7. Детальная карта загрязнения ближней 60 км зоны от аварии стронцием-90 (с указанием направления распространения стронция в разные дни после аварии)

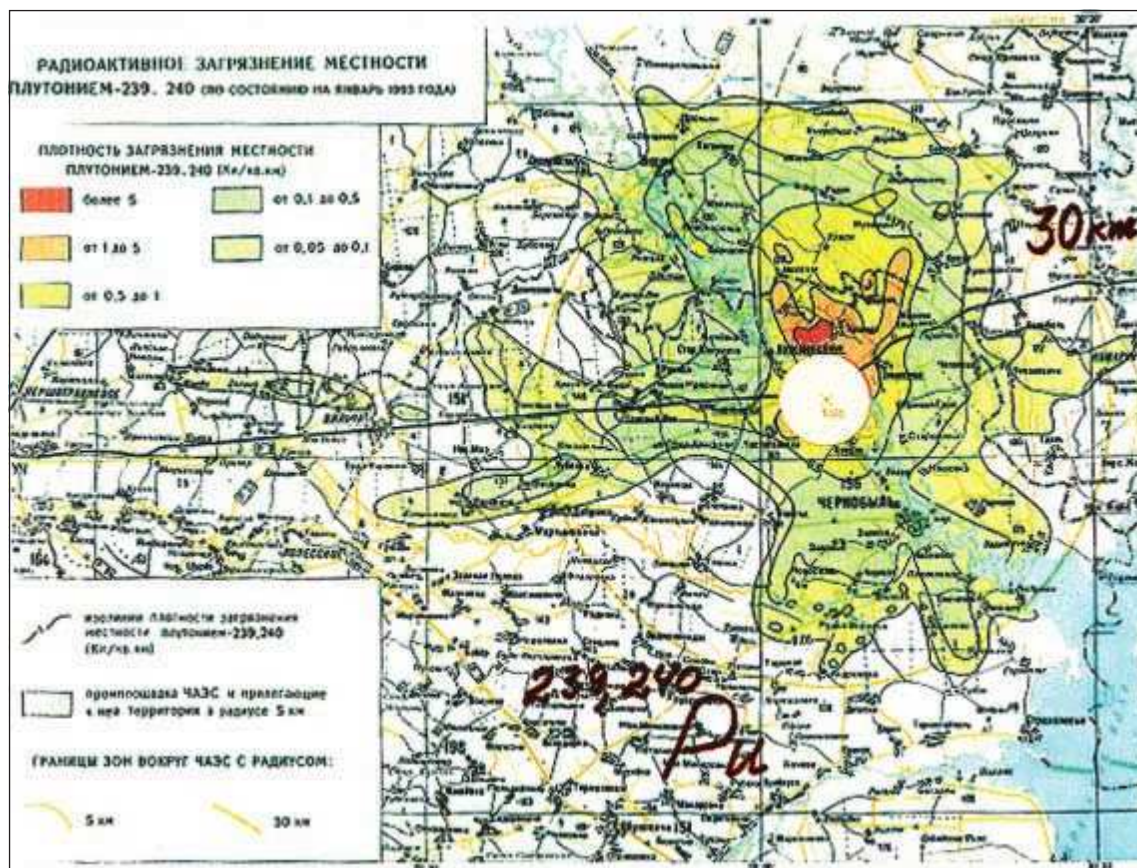


Рис. 8. Детальная карта загрязнения ближней 30 км зоны от аварии плутонием-239, 240

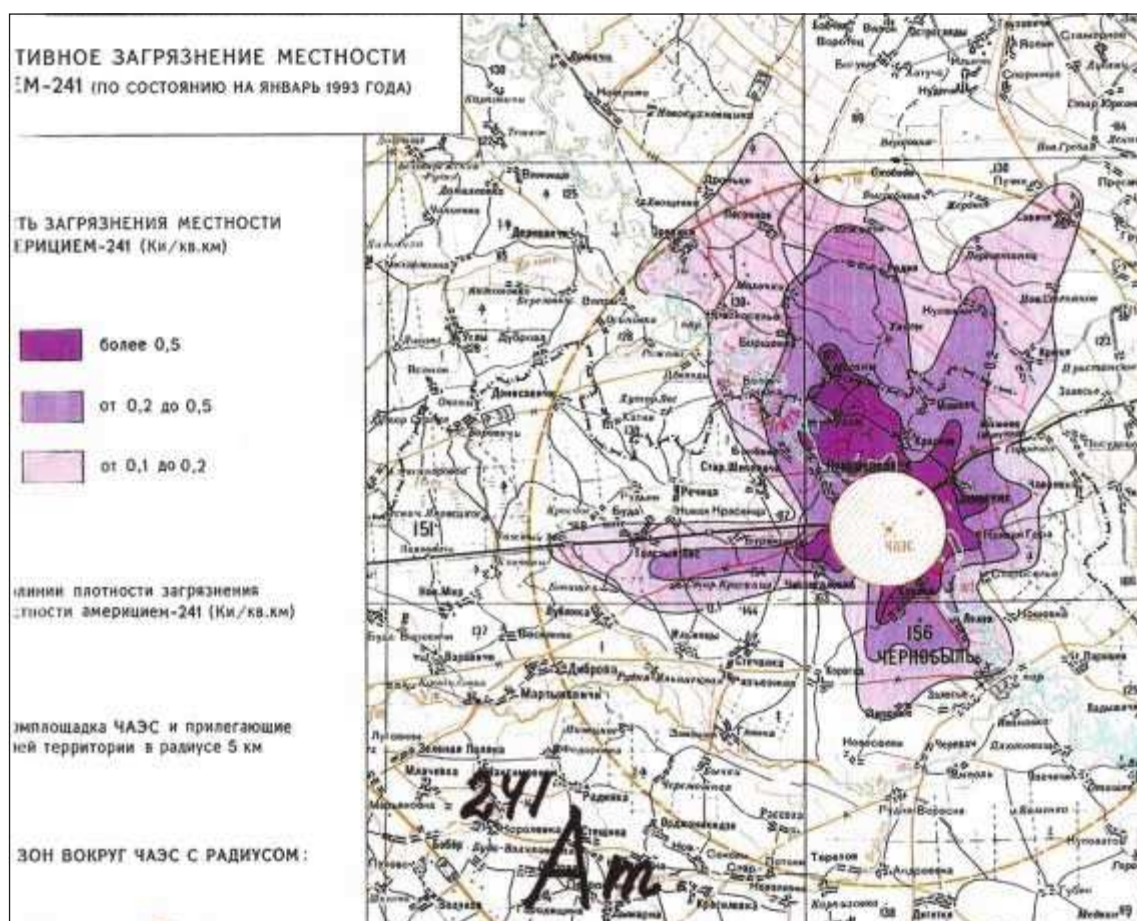


Рис. 9. Детальная карта загрязнения ближней 30 км зоны от аварии америцием-241

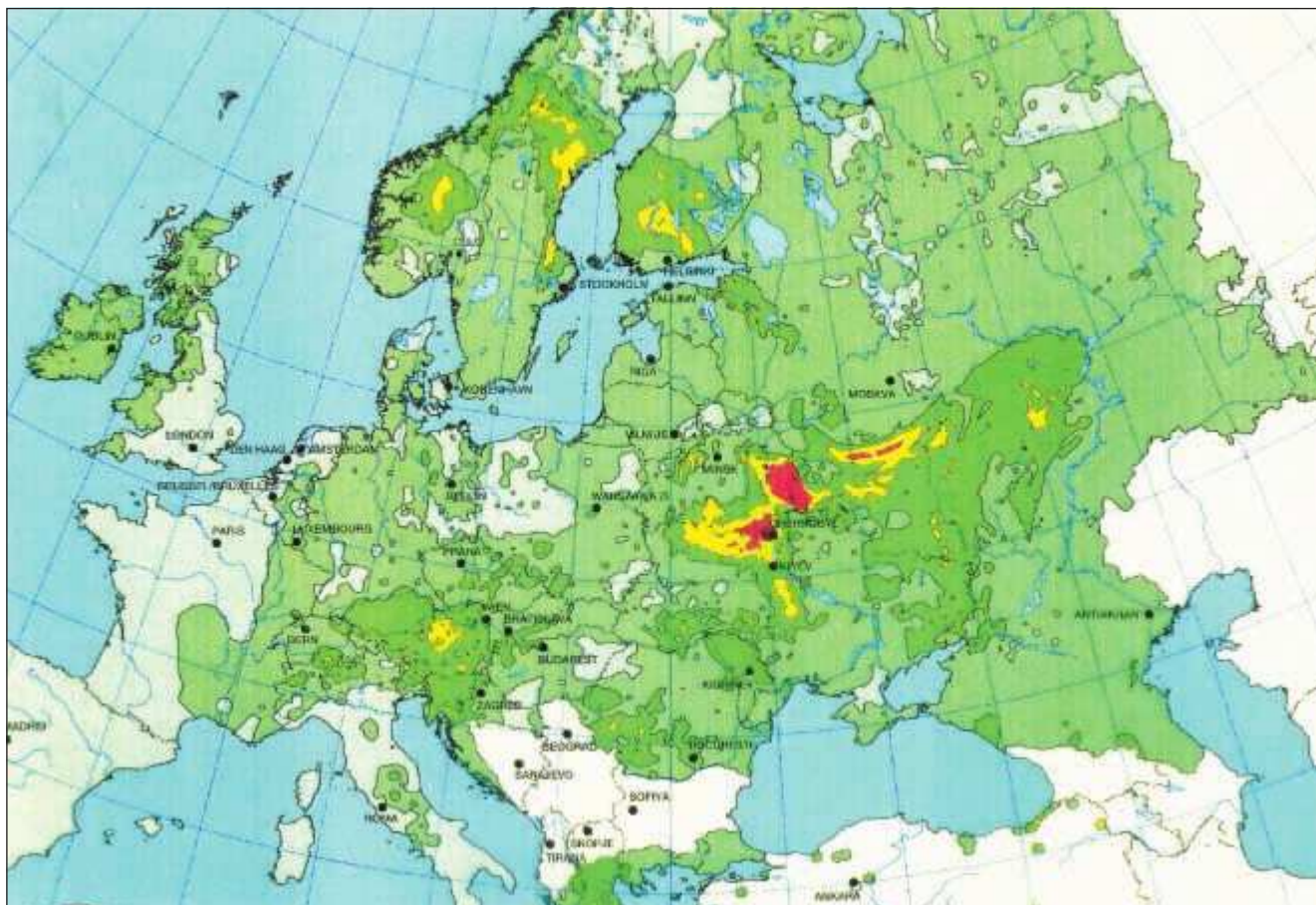


Рис. 10. Загрязнение местности цезием-137 в Европе

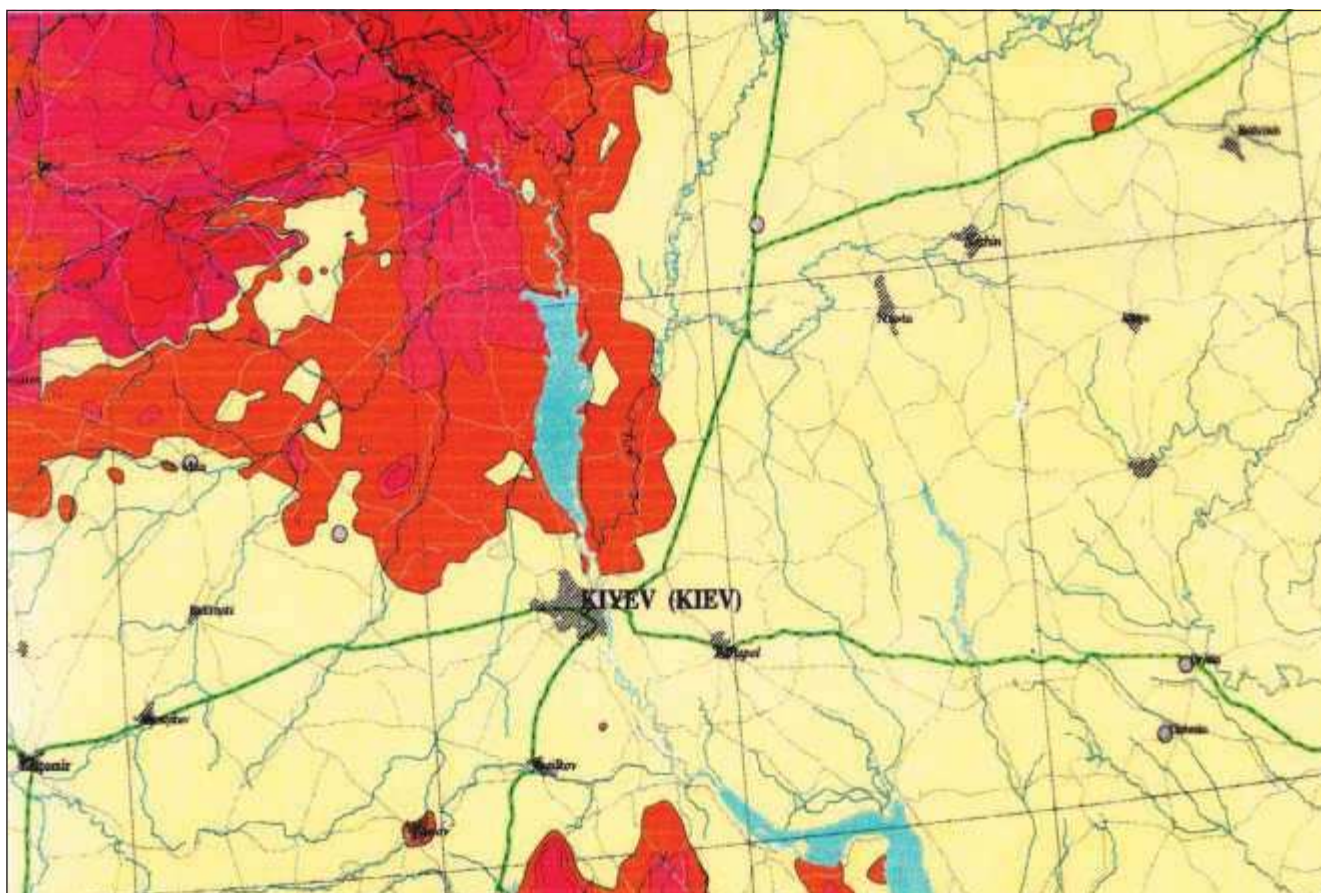


Рис. 11. Загрязнение местности цезием-137 в районе Киева

Так, в частности, для 16 европейских стран карты были построены по результатам измерений всего единиц или десятков проб. Лишь в Австрии, Германии и Греции число проб составило $(1-2) \cdot 10^3$. Только в Англии и Швеции осуществлялась аэрогаммаспектральная съемка, число измерений было $4,6 \cdot 10^4$ и $1,4 \cdot 10^5$ соответственно. В Венгрии, Финляндии и Швейцарии проводилась наземная гамма-спектральная съемка, число измерений соответственно составляло 86, 851 и 150. Количество аэрогаммаспектральных измерений на территории стран СНГ и Балтии составило $4,6 \cdot 10^6$.

В табл. 2 [13, 14] показаны площади с различными уровнями загрязнения местности цезием-137 в странах Европы, наиболее затронутых выпадениями в результате аварии на ЧАЭС. Уровень в 40 кБк/км^2 представляет нижнюю границу возможного воздействия на здоровье людей. Уровень 1480 кБк/км^2 представляет границу зоны отселения, где землепользование в настоящее время запрещено. В этой же таблицы показано количество (абсолютное и в %) цезия-137, выпавшего в отдельных странах Европы.

Таблица 2. Общее количество цезия-137 и площади с повышенными уровнями радиоактивного загрязнения местности цезием-137 в странах Европы при чернобыльской аварии (и процент от выпавшего количества), май 1986 г.

Страна	Суммарное количество ПБк (к Ки)	%	Площадь, определенная по карте среднего масштаба (в тыс.км ²)	
			>40 кБк/м ² (>1,08 Ки/км ²)	>1480 кБк/м ² (>40 Ки/км ²)
Австрия	1,6 (42)	2,4	11	
Белоруссия	15 (400)	23	46	2,6
Чехия	0,34 (9,3)	0,54	0,21	
Финляндия	3,1 (83)	4,8	19	
Германия	1,2 (32)	1,8	0,32	
Греция	0,69 (19)	1,1	1,2	
Италия*	0,57 (15)	0,90	1,3	
Норвегия	2,0 (53)	3,1	7,1	
Польша	0,4 (11)	0,63	0,52	
Румыния	1,5 (41)	2,4	1,2	
Россия (Европейская часть)	19 (520)	30	60	0,46
Словакия	0,18 (4,7)	0,28	0,02	0,46
Словения	0,33 (8,9)	0,52	0,61	
Швеция	2,9 (79)	4,6	24	
Швейцария	0,27 (7,3)	0,43	0,73	
Украина	12 (310)	18	38	0,54
Великобритания	0,53 (14)	0,83	0,16	

*без Сицилии

Долгосрочный прогноз изменения загрязнения местности цезием-137 от аварии на ЧАЭС имеет практическое значение в России для 19 субъектов, где наблюдаются значительные уровни загрязнения.

В табл. 3 приведены прогнозируемые площади с различными уровнями загрязнения цезием-137, выпавшим в результате Чернобыльской аварии, на даты, кратные 10 годам после аварии на ЧАЭС, для России в целом [14]. При прогнозе учитывался физический распад Cs-137, а также эрозионные и русловые процессы, приводящие к горизонтальной миграции почвенной массы в долинах крупных рек. Следует учитывать, что выведение Cs-137 из корневоступного слоя в результате вертикальной миграции в почве, снижение его проникновения в биоту с

течением времени (в следовательно, и в пищевые цепочки) приведет к уменьшению опасности проживания и пребывания в каждой из зон, прогнозирование площадей которых производится.

Таблица 3. Прогноз изменении площадей с различными уровнями радиоактивного загрязнения местности цезием-137 от аварии на ЧАЭС по России в целом (в км²)

Год	Площади (км ²) с различными уровнями загрязнения местности цезием-137, Ки/км ²			
	>40	15-40	5-15	1-5
1986	580	2070	5780	56260
1986	210	1900	5330	48980
1986	40	1280	3540	26260
1986	0	850	2780	18920
1986	0	625	2700	15040
1986	0	190	2340	12500
1986	0	100	1500	10930

Из результатов прогноза следует, что уровни загрязнения более 15 Ки/км², наблюдавшиеся в настоящее время на территории Брянской области, окончательно исчезнут примерно через 100 лет после аварии.

Детальные карты загрязнений отдельными радионуклидами позволили изучить структуру формирования загрязнения в условиях исключительно сложной метеорологической обстановки и длительного выброса радиоактивности из разрушенного реактора.

На рис. 7, где изображено распределение стронция-90 в ближней зоне аварии (зоне, где выпал почти весь стронций-90) выделено 10 основных следов или направлений, в которых сформировались следы стронция-90 при выпадении его на земную поверхность после аварии. На рисунке указаны основные даты формирования этих следов [3а]. Очевидно, что основные направления ветров описали в течение первых пяти-шести дней полный круг, определив основные следы, как в ближней зоне (почти равномерно), так и в дальних зонах, обеспечив загрязнение в западном направлении, в том числе выходов в Центральную и Западную Европу, в северо-западном направлении — с выходом на страны Скандинавии, в северном направлении, образовав мощное могилевско-гомелевское пятно загрязнений, в восточно-северо-восточном направлении обеспечив распространение значительного количества радионуклидов вплоть до Урала, и затем на юг в район Киева, Белой Церкви, с поворотом в сторону Румынии и Болгарии. Загрязнение носит пятнистый характер — это зависело от скорости и резкого изменения направлений ветра, выпадения осадков. Очень характерны загрязнения в районе Могилев-Гомель, Тула-Плавск, на юге от Киева, на западе и юго-западе от места аварии.

Мощная струя радиоактивности, распространяясь к югу, привела к некоторому ослаблению загрязнений цезием-137 в районе Киева (граница красной зоны — 1 Ки/км²) (см. рис. 11), а затем вновь обнаруживает усиление выпадений. Интересно отметить, что почти во всех случаях в районе больших городов и даже поселков наблюдается уменьшение выпадений, что обусловлено, по-видимому, «тепловыми островами» в районе городов и возникновению условий, приводящих к уменьшению выпадений.

На рис. 10 показано радиоактивное загрязнение территории Европы в целом цезием-137. На этой карте видно, на сколько далеко распространился цезий, благодаря своей летучести, от места аварии. Конечно осадки на больших расстояниях сыграли существенную роль в формировании выпадений — в зоне выпадений дождевых осадков загрязнение в десять и более раз превышало выпадение в «сухих» местах. Так, например, уровни излучения в Южной Баварии и Австрии, где осадки выпали во время прохождения загрязненных воздушных масс, были выше, чем в Киеве и Минске, где дождей в это время не было [14].

Весьма интересны карты загрязнения изотопами плутония и америция-241 (рис. 8 и 9). Плутоний, как тугоплавкий элемент не распространился в значительных количествах (превы-

шающих допустимые значения в $0,1 \text{ Ки/км}^2$) на большие расстояния — его выпадения практически ограничили 30-километровой зоной; однако, эти зоны площадью около 1100 км^2 (где и стронция-90 в большинстве случаев выпало более 10 Ки/км^2) долго будет непригодной для проживания человека и хозяйствования, т.к. период полураспада плутония-239 составляет 24,4 тыс. лет.

Что касается α -излучателя америция-241 (продукт распада плутония-241 — α -излучателя), то это единственный радионуклид в зоне загрязнений от чернобыльской аварии, концентрация которого возрастает (см. рис. 12 [6]), достигнет максимальных значений через 50-70 лет, когда его концентрация на земной поверхности увеличится почти в десять раз.

В дальних зонах распространения цезия-137, где проживают сотни тысяч человек, уменьшение его доступности (без учета распада) для людей и животных, и растительности будет происходить со скоростью уменьшения вдвое за 4-8 лет и для стронция-90 — от 10 до 14 лет [15]. В местах, где существенна миграция стронция и цезия вглубь почвы, его доступность для растений (в первую очередь для сельскохозяйственных растений) резко падает и время возможности перехода в пищевые цепочки уменьшается.

Кривые, демонстрирующие миграцию различных радионуклидов в разных условиях (почва, ландшафты) показаны на рис. 13 и 14 [5].

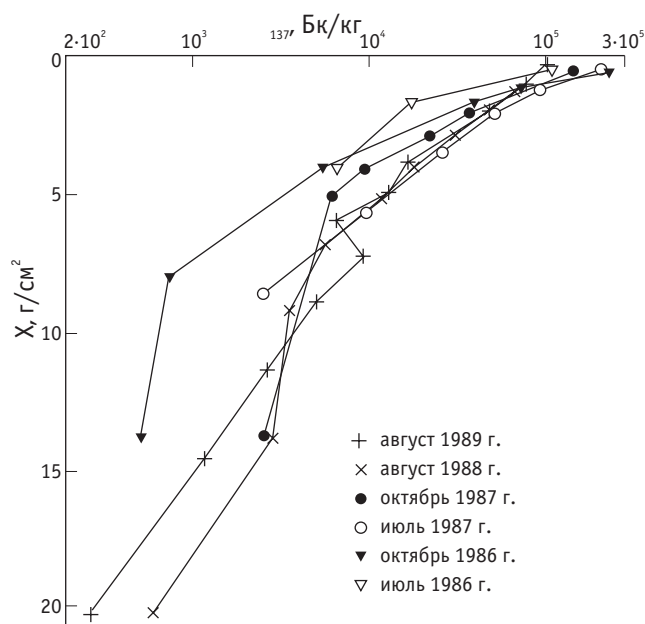


Рис. 13. Миграция цезия-137 в разных условиях

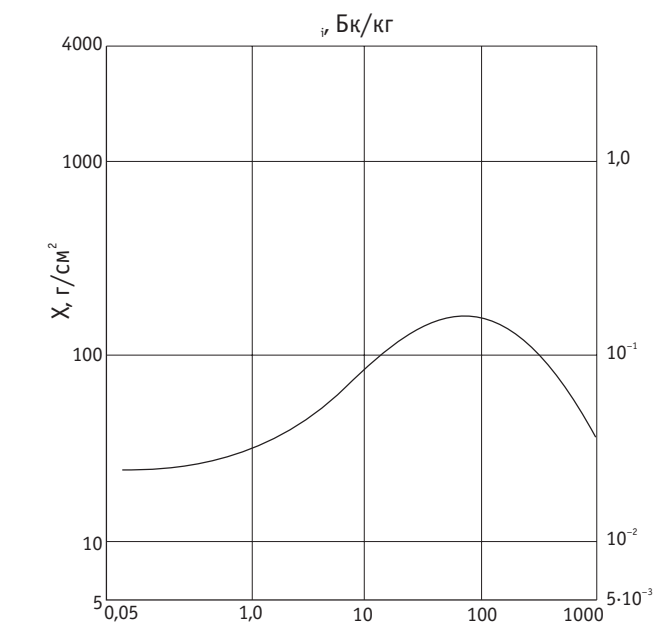


Рис. 12. Изменение суммарного количества америция-241 в 30 км зоны

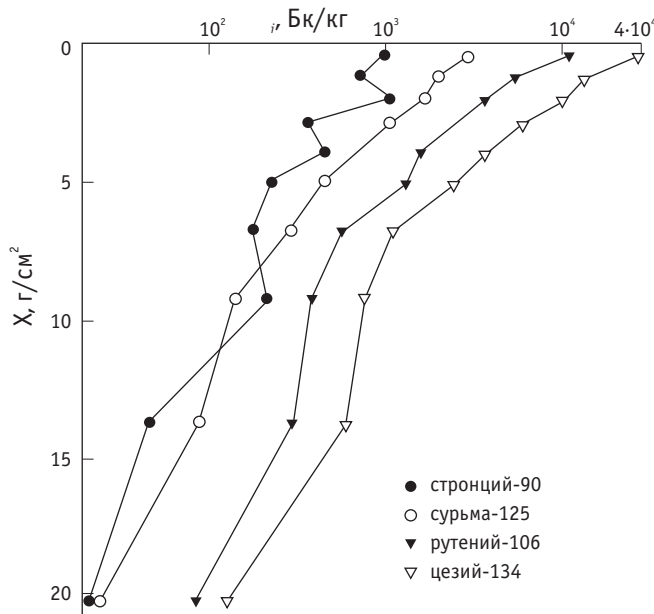


Рис. 14. Миграция различных радионуклидов в почве луговой площадки

Важнейшими характеристиками, определяющими поведение и превращения радионуклидов в природных средах является их фракционирование, подвижность, подверженность растворению и далее — биологическая доступность, определяющая проникновение в живые организмы, в том числе в организм человека.

При выбросе радиоактивных продуктов из различных источников происходит их распространение, выпадение на местности с частицами грунта или разрушенного реактора, а затем миграция радионуклидов в различные среды.

Основной причиной фракционирования является различные скорости проникновения (сорбции) радионуклидов в расплавленные (оплавленные) элементы грунта или конструкций и осаждения на поверхности частиц, образовавшихся при аварии реактора, которые, распространяясь, образуют загрязнение природных сред [3].

При разрушении реактора основное количество ^{89}Sr и ^{90}Sr будет обусловлено их накоплением до аварии, и эти радионуклиды будут вести себя как тугоплавкие, выпадая в ближней зоне от аварии. Изотопы цезия (^{134}Cs , ^{137}Cs), являясь изотопами летучего химического элемента (и при взрывах) и при авариях на реакторе ведут себя как летучие продукты, и распространяются на весьма большие расстояния. С другой стороны, трансплутониевые элементы являются тугоплавкими элементами.

В работе [3] указано на сходство и различие поведения радиоактивных продуктов при ядерных взрывах и Чернобыльской аварии.

Фракционирование радионуклидов и особенности их распределения на различных частицах в значительной степени определяют их подвижность и доступность в самом широком смысле этих слов.

Этот вывод был своевременно сформулирован при Чернобыльской аварии.

Фракционирование радионуклидов на следах различных направлений, образовавшихся из различных порций выброса (выхода) радиоактивности из разрушенного реактора сильно различается. Только первая порция в первый момент выброса слабо фракционирована — она близка к составу продуктов, накопившихся в реакторе ($f^{137}_{144} \sim 1,0$). В остальных направлениях фракционирование летучих продуктов по отношению к тугоплавким, даже в ближней зоне, очень велико (f^{137}_{144} достигает значений 25-35) см. рис. 14, кроме южных направлений, где f^{137}_{144} опять приближается к единице (формирование следов этого направления происходило 30.04-01.05.1986) [5].

В атмосфере и в выпадениях после Чернобыльской аварии было обнаружено значительное количество высокоактивных частиц, образующих существенную долю радиоактивного загрязнения.

В пробах почвы (отобранных с площади около 150 см^2) нередко несколько десятков высокоактивных частиц определяли более 90% активности всей пробы.

Очевидно условия образования радиоактивных частиц в зоне разрушенного реактора существенно менялись в течение десятидневного интенсивного выброса и истечения радиоактивности в атмосферу.

В связи с этим частицы, обнаруженные на различных расстояниях и удалениях, выброшенных из реактора в различное время могли существенно различаться как по своей структуре, так и по радионуклидному составу.

Высокоактивные частицы, как правило фиксировались либо в виде «наездников» на более крупных частицах, либо в конгломератах менее активных частиц. По-видимому, при взаимодействии первичных частиц, образовавшихся из диспергированного топлива или в результате конденсации испарившихся элементов, с атмосферой или почвенной пылью образуются описанные конгломераты частиц.

В исследованных частицах были обнаружены частицы активированного графитового пепла (или сажи) и другие частицы неправильной формы (возможно образовавшиеся в результате карбитизации топлива).

Частицы по радиоизотопному составу делились на две группы — в одной группе (по-видимому), образовавшиеся при первичном или начальном выбросах) нуклидный состав был близок к нефракционированному составу горючего и осколков деления на момент аварии. Во вторую группу можно отнести частицы обедненные тугоплавкими продуктами аварии (в период горения графита или разогрева после сброса значительного количества инертного материала в

реактор) вклад (выброс) радиоактивности был значительно обогащен цезием-137, 134; изотопами рутения и другими летучими изотопами.

В некоторых частицах рутений превалировал даже над изотопами цезия.

На рис. 15 представлены корреляционные зависимости коэффициентов фракционирования $f_{i,j}$ для четырех пар радионуклидов; в качестве опорной бралась пара цезий-137/церий-144, в качестве исследуемых пар принимались пары цирконий-95/церий-144, рутений-106/церий-144, сурьма-125/церий-144 (по той же «схеме», как и для ядерных взрывов [15]. Отношение активности «накопленные» выходы), необходимые для расчетов $f_{i,j}$ брались на время аварии.

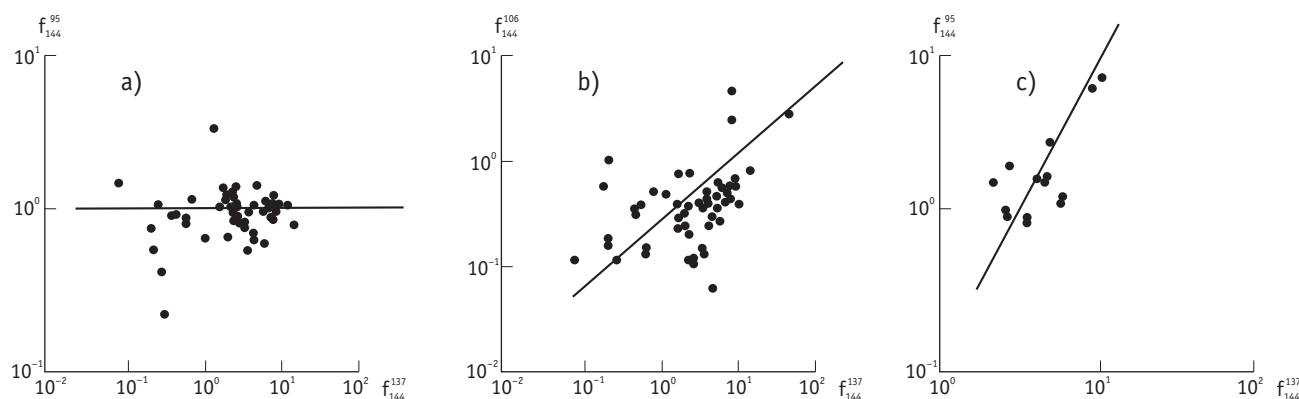


Рис. 15. Корреляция зависимостей коэффициентов фракционирования различных радионуклидов в радиоактивных частицах в зоне аварии.

Как видно из рисунков, корреляционные зависимости указанных коэффициентов фракционирования имеют схожий характер, с полученными зависимостями при ядерных взрывах — цирконий-95 практически не фракционируется по отношению к церию-144, фракционирование рутения-106 в среднем близко к фракционированию цезия-137, сурьма-125 имеет даже большую летучесть, чем цезий-137 (в 60-км зоне от аварии!).

Аналогичные коэффициенты фракционирования наблюдались для ^{137}Cs и на очень больших расстояниях — для многих стран Европы [8].

На больших расстояниях северного и северо-восточного направлений (Гомельская, Могилевская, Тульская обл.) сформировались «цезиевые пятна» с огромными коэффициентами фракционирования у летучих радионуклидов со значениями $f_{i,95}$ для ^{131}I — до 200-290, ^{110}Ag — до 100-190, ^{125}Sb — до 150-250, ^{137}Cs — до 170-370 [8] (см. табл. 4).

Как уже отмечалось, миграция, подвижность радионуклидов весьма сильно зависят от сорбции и растворимости радионуклидов.

Если вещество, составляющее основу частиц (например, SiO_2), практически нерастворимо в воде и слабых кислотах, то по величине поверхностного загрязнения частиц можно определить долю изотопа, подверженную выщелачиванию. Эта доля практически совпадает с величиной биологической доступности, которая определяется как частное от деления относительного накопления биологической системой этого изотопа из радиоактивных частиц на относительное накопление изотопа из раствора (см. [3,16]).

Используя данные по растворимости радионуклидов и данные для ионообменных реакций возможно оценить их подвижность с подземными и поверхностными водами.

В работах [17, 18] оценены возможности миграции радиоактивных продуктов с подземными водами.

Уравнения для ионного обмена включают постоянную K_d , названную коэффициентом распределения, обозначающую отношение ионов, находящихся в связанном состоянии в твердой фазе, к их числу в водном растворе. Значения K_d для разных минералов и изотопов меняются примерно в пределах 10^1 - 10^5 .

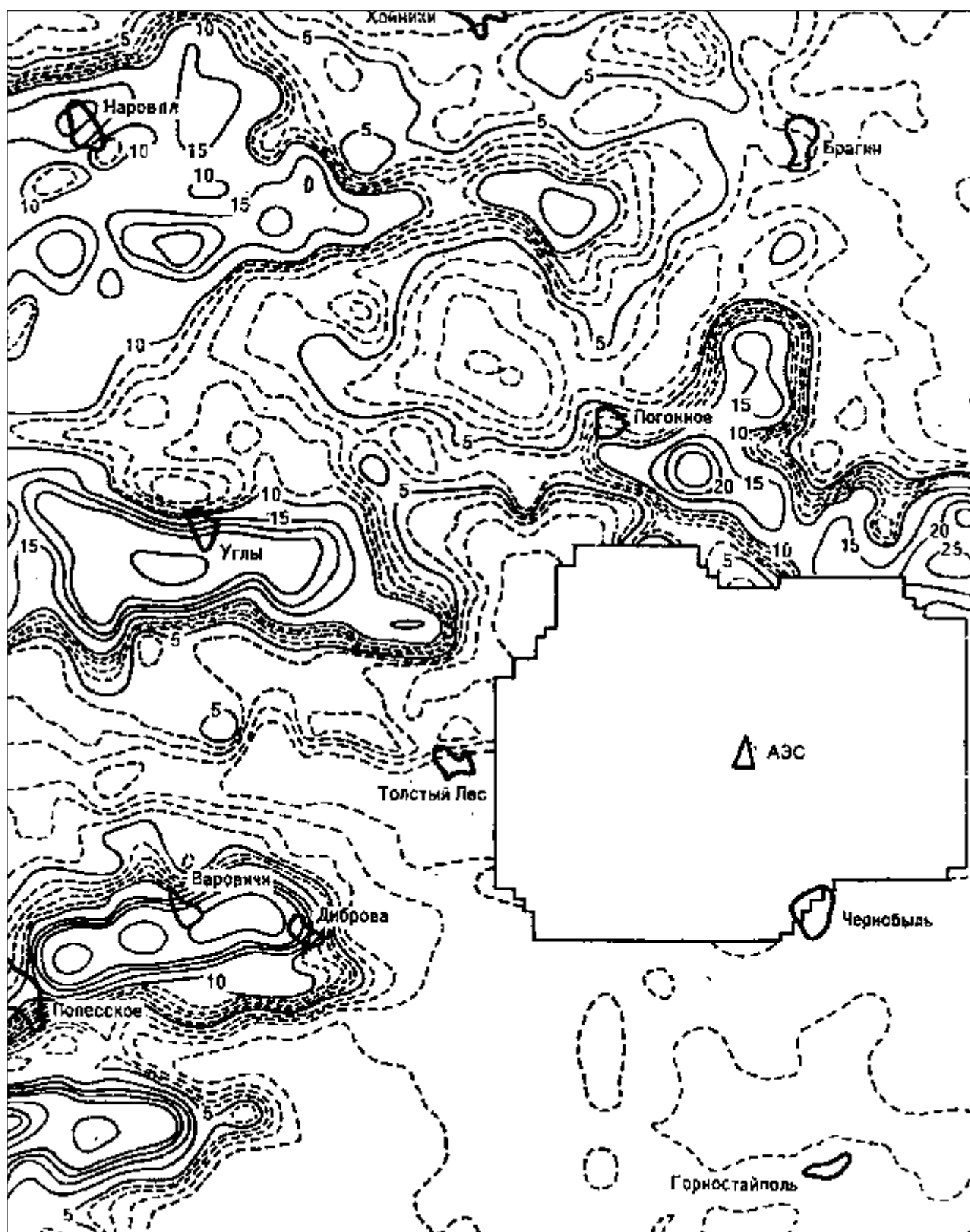


Рис. 16. Карта коэффициентов фракционирования цезия-137 по отношению к тугоплавким радионуклидам в ближней (30-60 км) зоне аварии

По данным работы [19] K_d (для следов Чернобыльской аварии) составляет в среднем $1 \cdot 10^3$, для цезия — $10\text{--}5 \cdot 10^4$, церия — $5,8\text{--}6 \cdot 10^3$, циркония — $50\text{--}6 \cdot 10^3$ (наиболее низкие значения K_d наблюдаются на песчаных почвах).

После аварии на Чернобыльской АЭС вокруг АЭС были пробурены на расстоянии несколько сот метров от площадки станции, перед р. Припять десятки скважин для контроля (на глубину водоносного горизонта). Наблюдения за концентрациями Sr90 в воде этих скважин в течение полутора лет после аварии показали, что эти концентрации не превышали фоновых (дочернобыльских).

Смыв радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$, ^{106}Ru , ^{125}Sb и ^{144}Ce паводковыми водами после Чернобыльской аварии изучался в марте-апреле 1987 г. на пяти водосборах [6].

Все коэффициенты «смыва» составили менее 1%.

Наиболее доступны для усвоения растениями «свежие» радионуклиды при поступлении аэральным путем и в начальный период пребывания в почве (например, для ^{137}Cs заметно уменьшение поступления в растения с течением времени, т.е. при «старении» радионуклида).

Подводя итоги, необходимо отметить для сравнения, что набор радионуклидов, попавших в окружающую среду при ядерных взрывах и авариях, с учетом фракционирования, подвижности и биологической доступности, их относительная опасность существенно изменяется (табл.4), выделяются лишь небольшое количество весьма опасных радионуклидов для всего живого.

Так, если в списке наиболее опасных радионуклидов (для внутреннего облучения), выброшенных в атмосферу при Чернобыльской аварии, присутствуют ^{131}I , изотопы плутония, особенно ^{241}Pu , ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{140}Ba , ^{137}Cs , ^{132}Te , ^{239}Np и др., то с учетом всех превращений, за пределами ближнего следа (зона отчуждения) в список наиболее опасных радионуклидов попадают ^{131}I , ^{137}Cs (см. табл. 4).

Поведение наиболее опасных долгоживущих радионуклидов после ядерных взрывов и чернобыльской аварии показано в табл.4 и 5 [3, 3а]. Особенности источников загрязнения формирования радиоактивных частиц в этих случаях приводит к существенному изменению соотношений этих радионуклидов. Из табл.5 видно, что при чернобыльской аварии цезий-137 в силу летучести самого цезия намного более распространяем и доступен, а следовательно, и более опасен, чем стронций-90. При ядерных взрывах наблюдается обратная картина.

Заключение

Итак, после выброса значительного количества радиоактивности после Чернобыльской аварии был организован оперативный мониторинг загрязнения природных сред в широких масштабах. Особое внимание уделялось загрязненным территориям в наиболее опасных регионах. Была осуществлена квалифицированная аэрогамма-съемка обширных территорий.

Отметим, что наряду с серией карт и двумя Атласами загрязнения территорий (включая большинство стран Европы), выпущенных в прошлые годы, впервые данные о радиоактивном загрязнении предполагается разместить в Национальном Атласе России, в разделе «Природа. Экология». Это позволяет показать динамику формирования радиационного поля на территории России. Обсуждается идея совместного Атласа радиоактивного загрязнения Северного полушария и земного шара в целом. Конечно, такая работа потребует координации усилий на международном уровне.

Значения относительной (сравнительной) опасности долгоживущих радионуклидов после ядерных взрывов и Чернобыльской аварии были определены с учетом их подвижности и биологической доступности. Показано, что опасность цезия-137 после Чернобыльской аварии за пределами ближней зоны (30 км) значительно больше, чем после ядерных взрывов (по отношению к стронцию-90).

Обсуждена проблема биологического «возраста» поля загрязнений в зоне чернобыльской аварии. Для этих целей используются данные по миграции радионуклидов вглубь почв в течение длительного времени. Определено общее количество загрязнений цезием-137 и другими радионуклидами европейской части СССР и цезия-137 во многих странах Европы.

Таблица 4. Основные характеристики наиболее опасных радионуклидов при выбросе из разрушенного реактора ЧАЭС

Радионуклид	а, допустимая концентрация в атмосфере, 10 ⁻¹⁷ Ки/л	w, допустимая концентрация в воде, 10 ⁻⁹ Ки/л	Выход (эмиссия), %	Образовавшаяся на момент аварии радиоактивность, Бк	Фракционирование по отношению к тугоплавким радионуклидам				Переход в растительность из почвы (по сравнению с Cs-137)	Коэффициент распределения, K _d	Миграция с поверхностными и подземными водами	Ветровая миграция
					Ближний след		Дальний след					
					Север	Юг	Север	Юг				
¹³¹ I	1,5·10 ⁴	1	50–60	2,4-3,2·10 ¹⁸	4-9	0,9	200-290		1,0			Незначительная
¹³⁷ Cs	4,9·10 ⁴	15	14-33	1,4-3,3·10 ¹⁷	3-5	0,6	170-370	55	1,0	10 ² -10 ⁴	<1%	
⁹⁰ Sr	4·10 ³	0,4	4-5	1,7-2,5·10 ¹⁷	0,5	0,5-4,0	5,0-7,5	2,5		10-2·10 ³		
¹⁴⁴ Ce	2,2·10 ⁴	12	3,5	3,2-4,9·10 ¹⁸	0,9-1,0	1,0	1,4-2,0	1,4	10	10 ⁴ -2·10 ⁵	<<1%	
¹⁰⁶ Ru	1,9·10 ⁴	12	3,5-6,0	7,9·10 ¹⁷ -2,1·10 ¹⁸	0,6-1,5	0,5-0,75	20-30	7,7	1/20	10 ² -10 ³	<1%	
¹⁴⁰ Ba	1,5·10 ⁵	25	3,5	4,8-5,7·10 ¹⁸	1-1,6	0,8-1,0	10-15		1,0	10 ² -10 ⁴		
²³⁹ Pu	3,0	2,2	2-3	8,0-9,6·10 ¹⁴	0,9-1,0	1,0	1,4-2,0	1,4	Незначительный	10 ² -10 ⁴		
²⁴¹ Pu	160	110	2-3	1,7-1,9·10 ¹⁷	0,9-1,0	1,0	1,4-2,0	1,4		10 ² -10 ⁴		

Таблица 5. Относительная опасность радионуклидов выброшенных при ядерных взрывах и при чернобыльской аварии с учетом их фракционирования, подвижности и биологической доступности

Радионуклид	Общий выброс	Отношение а/w	Относительное фракционирование	Переход в растительность (относительно)	Миграция	Опасность $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ (относительная)
Ядерные взрывы						
^{90}Sr	19 МКи	1,0	1,0	1,0	незначительна	1,0
^{137}Cs	35 МКи	10-30	1,0-3,5	0,1	незначительна	0,01-0,1+ внешняя доза
Чернобыль						
^{90}Sr	0,2 МКи	1,0	1,0	1,0	незначительна	1,0
^{137}Cs	2,0 МКи	10-30	от 50 до 500	0,1-1,0	незначительна	до 30 + внешняя доза

Рекомендации

1. Возвращение людей в зоны с превышениями установленных в мае 1986 г. предельных норм для проживания населения по стронцию-90 (3 Ки/км^2) и плутонию-239 ($0,1 \text{ Ки/км}^2$) (эти нормы не пересматривались) должно быть запрещено.
2. Потребуются многолетние работы по измерению и исследованию поведения радионуклидов в природных средах после Чернобыльской аварии, исключительные меры по ликвидации её последствий и реабилитации загрязненных территорий.
3. Целесообразно ввести в раздел международных рекомендаций раздел «ядерный терроризм», в котором должна быть описана организация и действия национальных и международных групп для предотвращения самой возможности ядерного терроризма.

Литература

1. Итоговый доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МКГЯБ) о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Вена, 30 августа-5 сентября 1986 г.
2. А.А. Абагян, Л.А. Ильин, Ю.А. Израэль, В.Н. Петров и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ — Атомная энергия, 1986, т.61, вып.5, с. 301-320.
3. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб, «Прогресс-года». 1996. с. 355.
- 3a.Yu. Izrael. Radioactive fallout after Nuclear Explosions and Accidents. Elsevier Amsterdam-Boston-...2002, p.281 (перевод на англ. [3] с дополнениями).
4. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Rep. of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE), Aug. 2005
5. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров, В.Н. Петров, Ф.Я. Ровинский, Е.Д. Стукин. Л., Гидрометеиздат, 1990, с. 296.
6. Израэль Ю.А., Ветров В.А., Алексеенко В.А., Пословин А.Л., Козорезов Е.В., Стукин Е.Д. Смыв радионуклидов с паводковыми водами с природных водосборов и миграция с подземными водами. В кн.: Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской станции. М., 1988, №3, Госкомгидромет, стр. 30-34.
7. Стенограмма заседания Первой сессии Верховного Совета СССР 12 июля 1989 г. Бюллетень № 23, с. 29.
8. Израэль Ю.А. и др. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС /Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, С.И. Авдюшин и др. — Метеорология и гидрология, 1987, № 2, с.5-18.
9. Израэль Ю.А. Прошлые и прогнозы на будущее. — Правда, 1989, 20 марта.
10. Израэль Ю.А. и др. Эхо Чернобыля. — Наука и жизнь, 1990, № 9, с. 28-29.
11. The International Chernobyl Project Surface Contamination Maps ISBN92-0-129291-0 IAEA, Austria, 1991.
12. Карта радиационной обстановки на территории европейской части СНГ и стран Балтии по состоянию на январь 1993 г. (под ред. Ю.А. Израэль, Минск, Комитет картографии Белоруссии, 1993 г.
13. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии / Израэль Ю.А., научн. рук. - Люксембург, Бюро по официальным изданиям Европейских сообществ. — 1998. — 108с.

14. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. Научный рук. Ю.А. Израэль. М., ИГКЭ Росгидромета, СПб, Картографическая фабрика. ВСЕГЕИ. 1998.
15. Израэль Ю.А., Квасникова Е.В., Назаров И.М., Стукин Е.Д. Радиационный мониторинг. В кн.: Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата; пределы изменений. Наука, 2003, с. 93-155.
16. G. Prohl et al. Ecological half-lives of Sr-90 and Cs-137 in terrestrial and aquatic ecosystems. Radioactivity in the Environment, 2005, France, p.409-411.
17. Израэль Ю.А. Изотопный состав радиоактивных выпадений, 1973, Л., Гидрометеиздат, 108 с.
18. Израэль Ю.А. и др. Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования. Л., Гидрометеиздат, 1970.
19. Израэль Ю.А. Мирные ядерные взрывы и окружающая среда. Л., Гидрометеиздат, 1974, 135 с.
20. Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991. Под ред. Р.М. Алексахина и Н.А. Корнеева, М., Экология, 397 с.

Издательство «Комтехпринт», Москва
Лицензия ИД №02508 от 31.07.2002
Отпечатано с готовых диапозитивов ООО «Инфолио-Принт»
Лицензия ПД №01144 от 06.07.2001

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная
Уч.-изд. л. 4,9. Усл. печ. л. 3,6.