

С помощью этих методов можно получать информацию о типе дефектов, их распределении в объеме кристалла, характере напряжений, вносимых различными дефектами в кристаллическую решетку. Проблема изучения дефектов очень актуальна, так как многие физические свойства кристаллов, например полупроводниковых и лазерных, а также пределы их применимости определяются присутствующими в них дефектами: дислокациями, примесными атомами, вакансиями и их скоплениями, тепловыми колебаниями атомов.

Развитие дифракционных методов исследования, как и любых других, встречает на своем пути большие трудности, главной из которых является отсутствие динамической теории рассеяния кристаллами с различными дефектами. При электронно-микроскопическом изучении кристаллов с дефектами в некоторых случаях еще удается использовать ту или иную приемлемую модель рассеяния кристаллом, тогда как для рентгеновских лучей задача оказывается весьма сложной, и в настоящее время не существует сколько-нибудь удовлетворительной количественной модели (отдельные модели объясняют лишь качественную сторону изменения рассеяния дефектным или деформированным кристаллом). Построение такой строгой квантовомеханической теории — дело, по-видимому, ближайшего будущего.

На совещании обсуждались вопросы состояния динамической теории рассеяния кристаллами с дефектами, дифракционные методы исследования дефектов, достижения в области их практического применения. Были заслушаны доклады по общим проблемам динамической теории рассеяния в связи с исследованием дефектов (З. Г. Пинскер), по методическим основам дифракционной электронной микроскопии (В. Н. Рожанский), по современному состоянию электронно-микроскопических методов экспериментального исследования дефектов (Л. М. Утевский). О топографических методах исследования дефектов и об интерпретации некоторых частных типов изображения дефектов доложили А. М. Елистратов, И. Л. Шульпина и В. Ф. Миусков.

Количественные методы исследования общей степени совершенства кристаллов рассмотрели А. М. Елистратов и О. Н. Ефимов. С интересным докладом «О подавлении ядерных реакций при резонансном взаимодействии частиц с ядрами в идеальных кристаллах (ядерный эффект аномального поглощения в кристаллах)» выступили Ю. М. Каган и А. М. Афанасьев, показавшие возможность существования такого эффекта и давшие ему объяснение.

На совещании было заслушано несколько оригинальных работ по электронной микроскопии: о дифракционном контрасте от двойников в мартенсите и от выделений второй фазы в сплаве типа «нимоник»; об исследовании дислокаций, которые возникают в процессе роста кристаллов, при различных обработках образцов и нарушениях, образующихся в процессе распада металлических твердых растворов на разных его стадиях.

Применительно к вопросам изучения структуры распадающихся твердых растворов (на примере ионных и металлических твердых растворов) были сделаны доклады о работах, выполненных методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей, который основывается на существующей кинематической теории рассеяния.

Большая серия докладов была посвящена исследованию дефектов в почти совершенных кристаллах методами, основанными на динамических эффектах. Сюда относятся как топографические рентгеновские методы (Боррмана, Лэнга, Берга — Барретта, Фуджигавы, Коссея), так и количественные рентгеновские методы (связанные с рассмотрением интегральных характеристик и с использованием скачков поглощения). В отличие от предыдущего совещания, на котором обсуждались преимущественно работы по исследованию дефектов в германии и кремнии, для совещания 1966 г. было характерным сильно возросшее число решаемых задач и объектов исследования, степень совершенства которых уже настолько высока, что можно использовать динамические методы. Это монокристаллы германия и кремния, кристаллы  $Al_2O_3$ , искусственного кварца, кристаллы дигидрофосфата аммония и калия, различные эпитаксиальные пленки и пр.

Доклады касались весьма актуальных проблем исследования дефектов, возникающих в процессе выращивания совершенных монокристаллов и эпитаксиальных пленок, при изготовлении диффузионных приборов, при облучении и других обработках.

Несколько работ было посвящено количественному исследованию общей степени совершенства кристаллов, содержащих нарушения в виде радиационных дефектов, вакансий и их скоплений, тепловых колебаний атомов.

Совещание должно стимулировать расширение экспериментальных и теоретических работ, решающих как чисто научные задачи физики реальных кристаллов, так и практические задачи различных областей современной техники, широко использующей совершенные монокристаллы.

О. Н. ЕФИМОВ

## Симпозиум по удалению радиоактивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды

С 16 по 20 мая 1966 г. в Вене проходил организованный МАГАТЭ симпозиум по удалению радиоактивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды. В нем приняли участие 160 человек из 25 стран и от пяти международных организаций.

Доклады можно разбить на три группы.

К первой группе относятся 29 работ, посвященных физическому и биологическому переносу изотопов при удалении радиоактивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды. В них рассмотрены вопросы

разбавления, дисперсии, осаждения, поглощения радиоактивных веществ организмами в реках и других водоемах суши. Кроме того, доложены результаты исследований миграции искусственно радиоактивных изотопов и в связи с этим турбулентной диффузии водных масс в устьях рек, заливах и береговых водах в местах, где удаляются отходы, а также распространения изотопов в открытом море и океане.

Во второй группе докладов проанализированы пути облучения человека в результате удаления радиоак-

тивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды. Изучены движение радиоактивных изотопов по пищевым цепочкам и их внедрение в эту цепь посредством ирригации, дозировка внешнего облучения и оценка доз облучения отдельных лиц или групп вследствие удаления радиоактивных отходов в водную среду. Некоторые сообщения касались программ и результатов исследований, предшествующих работам по удалению радиоактивных отходов в моря.

В третьей группе докладов рассмотрены вопросы возможного влияния радиоактивных отходов на ресурсы морей, океанов и поверхностных вод. Исследовалось соматическое воздействие облучения на водные организмы и генетические последствия для популяций таких организмов.

Значительная часть докладов посвящена радиэкологическим и радиобиологическим проблемам.

Из материалов симпозиума следует, что практика удаления радиоактивных отходов в моря или реки все еще имеет место. Были сделаны сообщения об удалении отходов в реки Колумбия, Клинч и Теннесси (США); залив Солвэй-Ферт; в устье р. Блэйкуотер (Англия); в Северное море в районе Петтена, близ Амстердама (Нидерланды); в р. Рону (Франция); в залив Тверен на Балтийском море (Швеция). Известно также о сбросах в море в районе Тромбея, близ Бомбея (Индия). Кроме того, обширные исследования степени разбавления имитаторов отходов проводятся у мыса Аг (Франция), где вскоре начнет действовать большой завод по переработке облученного ядерного топлива.

В докладах многих ученых капиталистических стран на основе исследований, проведенных в местах удаления радиоактивных отходов, сделаны рекомендации снизить санитарные ограничения и разрешить сбросы в более высоких концентрациях, чем это принято в настоящее время.

Наибольшее количество радиоактивных отходов сбрасывается в море в Уиндскейле (Англия), активность которых достигает десятков тысяч кюри в год по суммарной  $\beta$ -активности.

Все страны, практикующие удаление радиоактивных отходов в открытые воды, выполняют обширные программы дозиметрического контроля и научных исследований с использованием современных методов (многомерной  $\gamma$ -спектроскопии) и технических средств: судов, специально сконструированной аппаратуры, крупномасштабных модельных установок. Проводятся опыты, в которых используется массовое мечение рыбы и морских животных, а также радиэкологические эксперименты в отведенных специально природных водоемах. Работы сопровождаются наблюдениями глобальных радиоактивных выпадений.

Многие исследователи капиталистических стран не замечают угрозы перерастания локальных радиоактивных загрязнений в глобальные вследствие дальнейшего расширения использования атомной энергии и роста числа предприятий, перерабатывающих облученное горючее. В докладах этих ученых локальная обстановка оценивается как благополучная. Некоторая тревога отмечается только в докладах ФРГ.

Советские ученые всегда настаивали на том, что проблема удаления радиоактивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды должна рассматриваться как международная.

Эту точку зрения, выражаемую большинством специалистов Советского Союза, разделяют значительная часть исследователей социалистических стран и некоторые ученые тех стран, где море и его ресурсы

играют важную экономическую роль. Она основана на том, что удаление промышленных радиоактивных отходов в открытые воды, моря и океаны считается недопустимым ввиду потенциальной угрозы всемирного радиоактивного загрязнения, возможные последствия которого, по имеющимся данным, могут быть опасны для ресурсов океана и для организма человека. Сбросы радиоактивных отходов в территориальных водах не могут считаться внутренним делом государства, так как радиоактивные вещества в результате миграции могут нанести вред населению соседних государств и ресурсам международных вод в целом.

Развернутое изложение мнения советских специалистов содержится в статьях В. П. Спицына и Б. С. Кольчева (см. «Атомная энергия», 9, 58, 1960; 10, 634, 1961).

Противоположная точка зрения принадлежит представителям стран с небольшой густонаселенной территорией. Наиболее ярко взгляды ученых этих стран выражены в работах и высказываниях Г. Дж. Данстера (Англия). В научно-техническом плане эта точка зрения состоит в том, что удаление отходов в поверхностные водные системы и моря может быть организовано с соблюдением санитарно-гигиенических норм в отношении человека и без вреда для ресурсов океана и морей. Важно только очень тщательно изучить возможные последствия удаления отходов, чтобы предотвратить опасность. В юридическом плане этот взгляд состоит в том, что пока речь идет об удалении радиоактивных отходов во внутренние водоемы и территориальные воды, то вопрос о возможной радиационной обстановке есть внутренний вопрос каждого государства. Когда же радиоактивные отходы выходят за пределы территориальных вод и попадают в международные воды, то следует руководствоваться статьей 25 Конвенции по открытому морю от 29 апреля 1958 г., в соответствии с которой страны обязались считаться со всеми нормами и регламентациями, которые могут быть разработаны компетентными международными органами.

Данные работ, доложенных на симпозиуме, свидетельствуют о том, что уже теперь удаление радиоактивных отходов в океан и другие открытые водные системы увеличивает радиоактивное загрязнение океана.

Так, только в донных отложениях р. Колумбия (США) содержатся изотопы активностью около 30 000 кюри. В р. Клинч (США) активность  $Sr^{90}$  составляет около 1110 кюри. Работавший уже более семи лет завод по производству плутония в Маркуле (Франция) удалил в р. Рону в 1965 г. отходы активностью 2584 кюри. Завод в Уиндскейле (Англия) удаляет в море ежегодно  $\beta$ -активные изотопы активностью около 50 000 кюри. На симпозиуме не было представлено точных сведений обо всем количестве удаленных отходов, включая захоронение в море отходов средней и высокой удельной активности в контейнерах.

Для прогноза ожидаемого количества радиоактивных отходов, подлежащих удалению в будущем, необходимо знать перспективы и темпы роста мощностей реакторов, вводимых в действие во всем мире. Решение этой задачи в первом приближении возможно путем анализа содержания  $Kr^{85}$  в мировой атмосфере. Быстрое развитие атомного производства на земном шаре приведет к тому, что проблема удаления радиоактивных отходов в самом ближайшем будущем станет еще более острой.

В. М. ВДОВЕНКО, Л. И. ГЕДЕОНОВ,  
П. М. ЧУЛКОВ