

A long-exposure photograph of a starry night sky. A prominent bright star is visible in the upper left, with a long, bright, diagonal streak of light extending from it towards the bottom right. The background is filled with numerous other stars, some appearing as short streaks. In the foreground, a dark mountain range is visible, with a snow-capped peak in the center. The sky is a deep blue, and the overall scene is illuminated by the starlight.

# Радиоэкология

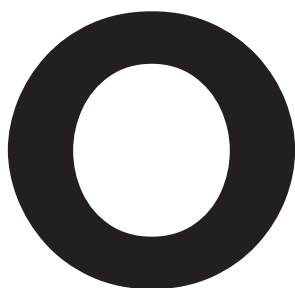




**«Сегодня задача радиозкологов — продвинуться в решении проблемы радиоактивных отходов и выработать единые международные нормативы радиационной безопасности для человека и окружающей среды».**

Директор ВНИИРАЭ доктор биологических наук, профессор, академик РАН

**Рудольф Михайлович  
АЛЕКСАХИН**



О б истории возникновения радиационной экологии и о том, какие задачи стоят перед радиозкологами сегодня, рассказывает доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, эксперт НКДАР ООН **Рудольф Михайлович Алексахин.**

— **Рудольф Михайлович, в книге ученого-атомщика из Великобритании Джона Сэнделлса «36 лет рядом с атомом» (*Thirty-Six Years at the Atomic*) вы и английский сельскохозяйственный радиозколог Скотт Расселл названы крестными отцами радиозкологии. Дайте как крестный отец определение науки, которой вы занимаетесь вот уже почти 60 лет.**

— Радиационная экология — это область естествознания, изучающая влияние ионизирующей радиации на живые организмы (в том числе человека), их сообщества, популяции, т.е. на биоту (окружающую среду) в целом.

Замечу, что радиозкология изучает как воздействие естественных радионуклидов, так и особенности существования живых организмов в условиях радиоактивного загрязнения, т.е. при выведении в окружающую среду техногенных (искусственных) радионуклидов.

В прикладном плане радиозкология призвана обеспечить радиационную безопасность использования ядерной энергии во всех отраслях нашей хозяйственной деятельности.

— **Когда возникла радиозкология, кто ее основоположники и какие этапы в ее развитии вы можете выделить?**

— Зарождение радиозкологии как науки произошло за полвека до появления самого термина «радиозкология». В 1896 г. Анри Беккерель открыл естественную радиоактивность солей урана, через два года Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри обнаружили радиоактивность тория, а Эрнест Резерфорд, проведя детальное экспериментальное изучение «радиоактивных лучей», показал, что радиация состоит из трех типов излучения, названных соответственно  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучами, и к 1911 г. раскрыл ядерную природу радиации.

Уже тогда появилось понимание того, что радиационный фон — это важный компонент окружающей среды, и началось изучение воздействия ионизирующей радиации на живые организмы. Таким образом, радиоэкология появилась одновременно с такими науками, как радиохимия, радиобиология, радиационная геология, и сразу же вошла в систему наук, связанных с ядерной отраслью, с ядерной и атомной физикой.

Важную роль в становлении радиоэкологии сыграл наш великий соотечественник академик Владимир Иванович Вернадский. Еще в 1920-х гг. прошлого века он провидчески сказал: «Человечество обретает могучую силу, силу атома. Будет ли атом использован в мирных или военных целях, покажет будущее».

На первом этапе радиоэкологии изучали распределение в биосфере тяжелых естественных радионуклидов, их миграцию и процессы концентрирования в растениях и животных, пытались понять значение естественной радиоактивности в жизненных процессах и общей эволюции живого. Например, тот же Вернадский описал закономерности накопления радия пресноводными растениями, а отец советской атомной бомбы академик Игорь Васильевич Курчатов изучал радиоактивность снега и дождя.

Второй этап истории радиоэкологии начался в середине 1950 гг. XX в. Атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 г., а затем глобальные радиоактивные выпадения (*fallout*) после интенсивных испытаний атомного оружия привели к значительному росту радиационного фона на всей планете.

Именно тогда появился термин «радиоэкология». Его независимо друг от друга предложили советские и американские ученые. Со стороны СССР это были организатор и первый директор Института биофизики АН СССР, один из основателей Пагуошского движения, член-корреспондент АН СССР Александр Михайлович Кузин, доктор биологических наук Анатолий Александрович Передельский, а также мой учитель — академик ВАСХНИЛ, участник атомного проекта нашей страны Всеволод Маврикиевич Клечковский. С американской стороны это был автор классического труда «Экология» Юджин Одум. Эти ученые показали, что искусственная радиоактивность, вносимая человеком в природу, представляет собой новый мощный экологический фактор.

Тогда, в 1950-1960-е гг., был особый этап радиоэкологии. Когда начались радиоактивные выпадения после ядерных испытаний, на исследование процесса их рассеяния по всему земному шару были мобилизованы ученые со всего мира. В те годы были проведены обширные исследования миграции основных радиологически значимых искусственных радионуклидов в различных природных средах и дана количественная оценка их



Р.М. Алексахин в теплицах ВНИИРАЭ

воздействия на биогеоценотическом уровне. Клечковский, в частности, изучил поведение радиоактивных продуктов деления тяжелых ядер (изотопов стронция, иттрия, цезия, циркония) в почвах и их поступление в растения.

Затем наступил этап 1960-х гг., когда основное внимание в радиоэкологии сосредоточилось на безопасности использования ядерной энергии. Необходимо было разработать способы ограничения возможного вредного воздействия радиации, связанного с использованием источников ионизирующего излучения в промышленности, медицине и науке, выбросами АЭС и радиоактивными отходами.

Наконец, в 1986 г. с аварии на Чернобыльской АЭС начался современный этап радиоэкологии, новый импульс развитию этой области придала авария на японской АЭС «Фукусима-1»

#### **— Какие главные научные задачи стоят сегодня перед радиоэкологией?**

— Основная задача радиоэкологии и соответствующих радиационных технологий — добиться максимального снижения количества радиоактивных веществ, которые поступают в окружающую среду и включаются в биологические цепочки миграции, ведущие к человеку, уменьшения их химической подвижности и биологической доступности. Важно научиться управлять радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.



— **Может ли атомная энергетика быть абсолютно безотходной?**

— Диалектика развития человеческого общества и эволюция промышленности однозначно свидетельствуют о том, что эти процессы невозможны без образования отходов. Вопрос в том, сколько образуется этих отходов и как по возможности технически превратить их в полезные ингредиенты. Так и ядерное энергопроизводство, где образование РАО неизбежно. Необходимо лишь принимать меры по их уменьшению, превращению в биологически инертные формы, регулировать их радионуклидный состав, стремясь к снижению количества наиболее радиологически опасных, уметь надежно захоранивать, т.е. экологически грамотно управлять РАО. В этом отношении у радиоэкологов есть и предложения, и конкретные достижения.

— **Радиация не признает государственных границ. Решение проблем радиоэкологии невозможно усилиями только одной страны. Какова сейчас структура международных организаций, которые разрабатывают правовую базу и стандарты радиационной безопасности во всем мире и в России?**

— К счастью, с того момента, когда мир осознал опасность ядерной войны и гонки ядерных вооружений, чтобы гарантировать безопасность развития мирного атома и сдержать распространение ядерной угрозы, были созданы такие организации, как МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии, *The International Atomic Energy Agency (IAEA)*), МКРЗ (Международная комиссия по радиологической защите, *The International Commission on Radiological Protection (ICRP)*), НКДАР ООН (Научный комитет ООН по действию атомной радиации, *The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)*). Наконец, у радиоэкологов есть своя профессиональная организация — МСР (Международный союз радиоэкологии, *International Union of Radioecology (IUR)*).

— **Каково распределение обязанностей между перечисленными вами организациями?**

— Цели и задачи всех вышеперечисленных международных организаций — обеспечение радиологической безопасности для человека при всех видах использования ядерной энергии в деятельности человека (в первую очередь это касается ядерной энергетике, всех предприятий полного ядерного топливного цикла).

**Сегодня задача радиоэкологов — продвинуться в решении проблемы радиоактивных отходов и выработать единые международные нормативы радиационной безопасности для человека и окружающей среды**

В семействе учреждений Организации Объединенных Наций МАГАТЭ обобщает мировой опыт радиационной защиты персонала атомных станций и населения, а также разрабатывает рекомендации по вопросам безопасности работы АЭС и других предприятий ядерного топливного цикла. Важная задача МАГАТЭ — способствовать мирному применению атомной энергии во всех ее формах и одновременно не допускать использования ядерных материалов и технологий в военных целях.



Торцевые самогасящиеся счетчики  $\beta$ -излучения (Т-БФЛ)

Мандатом ООН еще одному ведомству из ее семейства — НКДАР ООН — поручен анализ радиологической обстановки на земном шаре: оценка доз облучения различных групп населения и содержания радионуклидов в организме человека и объектах окружающей среды в разных регионах земного шара. Здесь собирают и анализируют последние научные достижения в изучении биологического действия ионизирующего излучения и защиты от него, оценивают состояние знаний по наиболее актуальным проблемам радиологии, радиозологии, радиационной гигиены и медицины. Отчеты НКДАР ООН — мировые энциклопедические сводки по различным проблемам радиационной защиты — служат настольными книгами у специалистов атомной отрасли.

МКРЗ объединяет видных ученых различных стран в области радиационной безопасности, ее задачи — разработка принципов и системы радиационной защиты человека и окружающей среды.

Наконец, МСР объединяет профессиональных радиозкологов мира, перед этой организацией — самой молодой в системе международного альянса (она создана в 1978 г.) — стоит задача координации работ в области защиты окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения

— **Какое место в этой структуре занимает «Росатом»?**

— Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», ее подразделения и институты принимают активное участие в работе указанных выше организаций. Делегации Российской Федерации — наи-

более многочисленные из всех 27 стран — членов НКДАР ООН на ее сессиях, в главную комиссию МКРЗ и пять ее комитетов входят ведущие ученые России, в составе исполкома МСР есть представители нашей страны, в многочисленных мероприятиях, проводимых под эгидой МАГАТЭ, участвуют специалисты нашей страны.

— **Какова роль госкорпорации «Росатом» в развитии радиозологических исследований в нашей стране?**

— В руководящей структуре атомной отрасли нашей страны (за 70 лет ее существования в различные годы название менялось — от Министерства среднего машиностроения СССР до государственной корпорации по атомной энергии сегодня) вопросам радиационной защиты окружающей среды всегда придавалось большое значение. В 1963 г. в составе Научно-технического совета Министерства среднего машиностроения по инициативе министра среднего машиностроения СССР Ефима Павловича Славского была образована радиозологическая секция (известная среди специалистов как



Рабочий стол академика ВАСХНИЛ В.М. Клечковского, который внес существенный вклад в радиозологию. Музей ВНИИРАЭ.





Проведение опытов в теплицах

секция № 8), которой руководил академик ВАСХ-НИЛ В.М. Ключковский. По существу, Минсредмаш СССР, а ныне ГК «Росатом», — основной организатор и куратор радиоэкологических исследований в стране.

— **Какие отношения у вашего института с «Росатомом»?**

— Наш институт активно взаимодействует с учреждениями «Росатома», имеет договорные обязательства, но не входит как часть в эту корпорацию, мы находимся в системе Российской академии наук. «Росатом» высоко ценит и активно использует наш автономный, академический статус, обращаясь к нам за экспертными оценками.

На практике это выглядит, например, так: наш институт выполняет договорные обязательства по проведению радиационного мониторинга, специалисты ездят на предприятия ядерно-энергетического комплекса (в первую очередь АЭС). Мы разработали методические рекомендации по радиационному мониторингу, утвержденные государственными надзорными органами, располагаем кадрами радиоэкологов, имеем соответствующий специальный транспорт, производственную базу по ведению радиологического и физико-химического анализа объектов окружающей среды. По итогам полевых и лабораторных исследований составляются отчеты в «Росатом», «Росгидромет», Российскую академию наук, в различные государственные ведомства, ответственные за сооружение и эксплуатацию объектов ядерно-топливного комплекса. Это касается и добычи уранового сы-

рья и хранения радиоактивных отходов, затрагивает сами станции, весь ядерный топливный цикл от добычи до обработки и хранения отходов.

— **В научном мире уже много лет ведется дискуссия о стандартах радиационной безопасности. Какова ваша оценка существующих норм безопасности и нужно ли их ужесточать?**

— В радиологических науках многие годы господствовал лозунг «лучше переоценить опасность, чем недооценить ее». Эта философия берет начало в 1950-1960-х гг., в период существования угрозы возникновения ядерной войны, когда и сформировалось представление, что ионизирующее излучение — самый опасный экологический фактор. Это неверная предпосылка сопровожда-

**Основная задача радиозологии — добиться максимального снижения количества радиоактивных веществ, которые поступают в окружающую среду**

ет человечество более полувека. Да, радиоэкологи подтверждают: ионизирующее излучение — безусловно опасный экологически отрицательный фактор, оно обладает сильным биологическим воздействием. Все зависит от дозы облучения (применительно к ионизирующему излучению — от поглощенной живым организмом дозы облучения). Очевиден факт, что в природе была, есть и всегда будет естественная радиоактивность. Это обязательный фактор, сопутствующий эволюции всего живого на нашей планете: и флоры, и фауны, и, конечно, человека. Существуют колебания природного радиационного фона, в некоторых местах они могут достигать до 20%; уже понятно, что это не опасно, что человек нормально адаптируется к таким колебаниям.

Нормативы ограничения воздействия ионизирующих излучений на человека (а в последнее время и на биоту) во многом продолжают ориентироваться на точку зрения, что радиация — самый сильный экологический фактор. Это приводит к тому, что радиационные нормативы оказались более жесткими, чем, скажем, нормативы на химические токсиканты. До тех пор пока будут живы представления, что радиация — самая опасная и самая варварская штука, будет иметь место радиофобия.



Главное здание Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии (ВНИИРАЭ)

Задача радиоэкологов — собрать как можно больше экспериментальных данных, изучить и проанализировать, а потом оценить реальную степень радиационного риска. И уже после этого, опираясь на научные данные, ужесточать или ослаблять радиационные нормативы.

Нужно объяснять людям природу естественного радиационного фона, насколько он необходим и неопасен. Тогда они будут понимать, как относиться к источникам ионизирующей радиации антропогенного происхождения.

**— Ранее господствовало мнение, что «если радиационными стандартами защищен человек, то защищена от облучения и биота». Насколько оно соответствует современным научным данным?**

— Современных радиоэкологов такое утверждение отчасти уже не устраивает. Необходимо уточнение формулировки, согласно которой «человек здоров, значит, будет здорова и окружающая среда (биота)». Современные доктрины обеспечения радиационной безопасности требуют прямых доказательств, что дозы облучения, получаемые живыми организмами в конкретной ситуации, не приводят к патологическим изменениям. Таким образом, антропоцентрическая парадигма радиационной защиты, существовавшая во второй

половине XX в., когда во главе угла стояла охрана здоровья человека, эволюционно сменяется эгоцентрической, требующей паритетной защиты и человека, и биоты

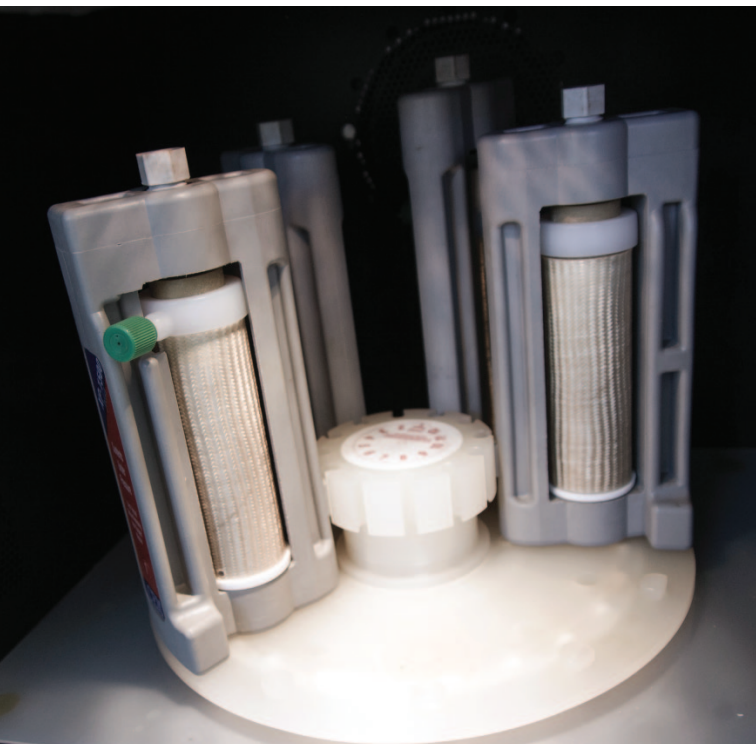
Вместе с тем нужно отметить, что выше написанное всецело не отрицает постулат «защищен человек, защищена окружающая среда» Именно этот тезис позволил успешно развивать ядерную энергетику более 60 лет.

Одна из задач нынешнего дня — изучение действия радиации на человека и биоту для создания правовой базы одновременно и для того и для другого. Мы умеем определять нормы допустимого облучения для человека, начинаем разрабатывать аналогичные нормы для биоты, но пока эти вещи не гармонизированы.

**— Как быстро, по вашей оценке, произойдет гармонизация допустимых норм радиационного воздействия на человека и биоту?**

— Я думаю, этот вопрос будет решен в пределах ближайшего десятилетия. Человечество наконец поймет, что и биота и человек «живут на одном дереве» и что мы должны





В лаборатории радиозкологии и агроэкологического мониторинга



нормировать пределы допустимого воздействия одновременно для одного и другого. Говоря афористично, человек будет здоров только в здоровой среде.

**— Как повлияли радиационные аварии на ядерных объектах на представления радиозколов о безопасности?**

— Первая серьезная радиационная авария произошла на ПО «Маяк» — это Кыштымская авария 1957 г. Был выброс большого количества искусственных средне- и долгоживущих радионуклидов в окружающую среду с образованием Восточно-Уральского радиоактивного следа. Тогда нам было еще очень мало известно.

Несколько позже в том же году была авария в Уиндскейле в Великобритании. Там загорелся реактор по наработке оружейного плутония на атомном комплексе в Селлафилде. Ситуация возникла весьма сходная с тем, что было в Кыштыме.

Затем был 1986 г. — Чернобыль. К этому времени мы уже накопили огромный объем знаний в области радиозкологии. Совершенно точно могу сказать, что если бы у нас не было информации по Кыштыму, в Чернобыле нам было бы гораздо труднее осуществлять систему защитных мероприятий по реабилитации загрязненных угодий.

Если мы далее перекинем мостик в 2011 г., то японцев очень интересовал наш чернобыльский опыт, они его активно заимствовали — например,

перевели на японский нашу книгу о ликвидации последствий аварии — и применяли на практике в зоне аварии на АЭС «Фукусима-1».

Более того, был целый чернобыльский период, когда многие европейцы, японцы и американцы приезжали к нам учиться на опыте ЧАЭС, а мы, соответственно, в свое время транспонировали опыт Кыштыма на Чернобыльский регион.

Накопленный опыт позволяет нам глубже понять значимость аварий на ядерных объектах, их последствия. И мы говорим: надо сделать так, чтобы подобные аварии оказались совершенно недопустимыми.

**— Не секрет, что радиационные аварии и антиатомная пропаганда породили у части населения радиозобию. Каковы в этих условиях перспективы ядерной энергетики?**

— Конечно, аварии в Чернобыле и на Фукусиме привели к некоторой стагнации в развитии ядерной энергетики. Но если Чернобыль породил настоящий чернобыльский синдром, то к Фукусиме в мире отнеслись намного более спокойно, т.к. уже знали, что нам грозит, и умели в определенной степени управлять последствиями.

Можно считать, что к настоящему времени общество сумело преодолеть последствия Чернобыля, когда у многих людей атомные электростанции и ядерная энергетика ассоциировались с негативным воздействием на человека и окружающую среду. Но оптимистичное восприятие перспектив ядерной энергетики и радиационных



технологий должно прочно базироваться на научном обосновании радиоэкологической безопасности.

— **Как вы оцениваете с позиций экологии проект «Росатома» «Прорыв»?**

— Еще Энрико Ферми, в 1942 г. запустивший первый ядерный реактор для военных целей, говорил: «Коллеги, работая на реакторах на тепловых нейтронах, мы далеко не уйдем!» К сожалению, современные реакторы на тепловых нейтронах — это обязательно большое количество радиоактивных отходов. Поэтому проект «Прорыв», одной из главных задач которого поставлено замыкание ядерного топливного цикла, будет действительно про-

## На конгрессе «Радиоэкология и радиоактивность окружающей среды», проводившемся в Барселоне, каждый седьмой доклад был из России

рывом. Ведь в реакторах на быстрых нейтронах можно будет использовать не только уран-235, которого всего-то 0,7%, но и уран-238, а его 99,3%. При замкнутом ядерном топливном цикле можно будет выжигать наиболее биологически опасные компоненты отходов и получать для хранения, как мы говорим, «более дружественные к биосфере» композиции радионуклидов. Поэтому мне как экологу проект «Прорыв» кажется очень перспективным.

— **Какое место российские ученые сегодня занимают в мировой радиоэкологии?**

— Было время, в 1950-1970-е гг., когда в мире были две лидирующие и конкурирующие школы радиоэкологии — советская и американская. Мы ревниво следили друг за другом. Американцы издавали переводы русских работ по радиоэкологии на английский язык, мы переводили и издавали американские труды.

Недавно в Барселоне прошел крупнейший конгресс под названием «Радиоэкология и радиоактивность окружающей среды». Каждый седьмой доклад был из России. А ведь в нем принимали участие больше 40 стран. Сегодня в Японии случился бум радиоэкологии, связанный с ликвидацией последствий аварии, — и то японцев было меньше,

чем россиян. Так что и в настоящее время Россия занимает видное место в радиоэкологии — прежде всего потому, что в нашей стране ядерная энергетика развивается, а ядерная генерация энергии будет успешной только тогда, когда мы будем понимать, что она экологически состоятельна и безопасна.

Сохранение за Россией роли одного из лидеров в современной радиоэкологии требует усиления внимания к изучению миграции радионуклидов в окружающей среде и действия ионизирующего излучения на экосистемном уровне, роста инвестиций в эти работы со стороны «Росатома», Российской академии наук, Росгидромета, Федерального медико-биологического агентства и других заинтересованных ведомств.

— **В чем главная заслуга радиоэкологов перед человечеством?**

— Это очень важный и ответственный вопрос. Таких заслуг, с моей точки зрения, у радиоэкологов две. Во-первых, в период, когда велись интенсивные ядерные испытания и мировой радиационный фон на их пике за счет выпадений вырос почти на 10%, мы сумели доказать, что нельзя допустить дальнейшего неконтролируемого возрастания радиационного фона за счет антропогенного компонента. Тогда радиоэкологи всего мира совместными усилиями поставили заслон опасному развитию событий. Кстати, договор о частичном запрещении ядерных испытаний в трех средах: в атмосфере, в космосе и под водой — был заключен в Москве в 1963 г. И получил название Московского. Как следствие, были сделаны важные шаги в направлении всеобъемлющего запрещения ядерных испытаний и нераспространения ядерного оружия.

Во-вторых, радиоэкологи сумели вместе с другими специалистами ядерной отрасли доказать экологическую состоятельность и радиационную безопасность важнейшего вида энергопроизводства — ядерной генерации. Шестидесятилетний опыт ядерной энергетики убедительно подтверждает это вывод. Несомненны заслуги радиоэкологии в понимании важной роли естественного радиационного фона не Замле.

— **Какова главная задача современной радиоэкологии в мировом масштабе?**

— В заключение повторю еще раз: главные задачи радиоэкологии на современном этапе заключаются в развитии понимания экологической радиационной безопасности ядерной энергетики как важнейшего типа генерации электричества, решении проблем управления радиоактивными отходами и совершенствовании использования экоцентрических принципов радиационной защиты человека и окружающей среды. ■

Беседовал Александр Тутков



## ГРАНИ ЛИЧНОСТИ

### РУДОЛЬФ МИХАЙЛОВИЧ АЛЕКСАХИН

**Доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН.**

- Эксперт НКДАР ООН (Научного комитета ООН по действию атомной радиации), вице-президент и член исполкома Международного союза радиозологии, член Британского общества радиологов.
- Участник ликвидации последствий Кыштымской аварии на Южном Урале (1957) и аварии на Чернобыльской АЭС (1986) для сельскохозяйственного производства в пострадавших регионах.
- Академик Р.М. Алексахин выполнил комплекс радиозологических исследований по миграции радионуклидов в системе «почва — сельскохозяйственные растения — животные» на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. Там же он был участником работ по лесной радиозологии, легших в основу этой науки.
- Соавтор первых рекомендаций по ведению сельского и лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды.
- С 1989 г. — директор Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии (ВНИИСХРАЭ), был научным руководителем большого количества радиозологических работ в зоне чернобыльской аварии.
- За комплекс работ по ликвидации последствий Кыштымской аварии Р.М. Алексахину (в составе коллектива) была присуждена Государственная премия СССР (1974), а по итогам работ в зоне аварии на ЧАЭС как руководителю коллектива — Государственная премия Российской Федерации в области науки (2002).
- Р.М. Алексахин активно занимается разработкой радиозологических проблем ядерной энергетики, подчеркивая, что от успехов в области обеспечения радиационной безопасности зависит прогресс в ядерном энергопроизводстве.