

Радиогеохимия: от истоков до наших дней

Рихванов Леонид Петрович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ,

Заслуженный геолог РФ, Почётный разведчик недр,

Почетный работник высшего профессионального образования РФ

Конец 19 века ознаменовался целой серией открытий, обусловивших появление многочисленных новых естественно-научных направлений. К числу наиболее значимых достижений этого периода, повлиявших на становление радиогеохимии, относятся: открытие явления радиоактивности Анри Беккерелем (24 февраля 1896 г.); выявление группы естественных радиоактивных элементов: урана, тория и продуктов их распада – полония (1898 г.), радия (1898 г.), актиния (1900 г.), а также газообразных (эманаций) продуктов распада – торона (1899 г.), радона (1903 г.) и др.; изучение свойств радиоактивного излучения (частиц и гамма-квантов), таких как выделение тепла (П. Кюри, Ж. Дани, 1903 г.), окрашивание кристаллических веществ, изменение их структуры (Пьер и Мария Кюри, 1899 г.), ионизация воздуха (А. Беккерель, 1897 г.) и других. Все это указывало на то, что человечество стоит на грани новых открытий в областях химии, физики, наук о Земле. В конце XIX – начале XX века это были ещё горизонты будущего, а спустя 100 лет всё это стало реалиями жизни человека, без которых его существование и развитие науки уже представляются невозможными.



Анри Беккерель – первооткрыватель явления радиоактивности

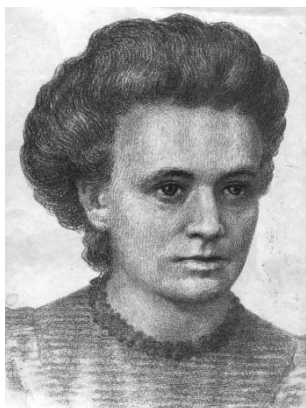
В 1896 году французский исследователь Анри Беккерель, изучая явление люминесценции под воздействием солнечного света, обнаружил засвечивание фоточувствительного материала веществом, в состав которого входили соли урана.

Счастливая случайность: небесное светило было в момент проведения эксперимента закрыто тучами, и, естественно, наблюдательный учёный заподозрил что-то неладное. Последовал ряд повторных экспериментов, которые подтвердили, что засвечивание фотопластинок происходит во всех случаях, когда используются соли урана, и это засвечивание происходит даже через светонепроницаемую бумагу.

Исследования Марии и Пьера Кюри, Эрнеста Резерфорда, Фредерика Содди, В. Рамзая, Б. Болтвуда, Г. Гейгера, С. Вильсона, Д. Эльстера и многих других физиков и химиков Европы изменили представления человечества о строении атомов (зародилась ядерная физика), расширили знания о строении и свойствах материи, методах её исследования. Они разрушили представления о вечности и неизменности атомов химических элементов. Это способствовало появлению методов определения абсолютного возраста объектов материального мира (возникла наука геохронология) и появилась возможность понять природу теплового потока на нашей планете.

В России конца XIX – начала XX века многие физики и химики не имели возможность активно работать в новой научной области, связанной с радиоактивностью, так как на тот период времени отсутствовали технические средства измерения радиоактивности (электроскопы были основным устройством изучения этого явления, а также фотопластинки для исследования методом радиографии). Отсутствовали и сами радиоактивные элементы из-за чрезвычайно высокой их стоимости на

мировом рынке (ориентировочно 1 г радия оценивался в начале XX века в 1 млн российских золотых рублей), что не позволяло эталонировать приборы и вести физико-химические опыты.



Мария Склодовская-Кюри – выдающаяся женщина мира XX века

Родилась 7.11.1867 в семье польского учителя.

Муж – Пьер Кюри, французский физик.

В 1897 году приступили к изучению лучей Беккереля.

Мария Кюри – дважды лауреат Нобелевской премии (1903; 1911).

Мать двоих детей: Ирен и Ева.

Ирен Кюри – лауреат Нобелевской премии (1935).

Ева Кюри, журналист; написала лучшую, на наш взгляд, книгу о Марии Кюри (1937).

Из семейного альбома Кюри



Пьер и Мария Кюри



Мария Кюри с дочерью Ирен в лаборатории



Ирен Кюри



Ева Кюри



Мария Кюри с дочерьми Ирен и Евой (1905 г.)

Вот что писала французская пресса о трудностях получения радия:

«28 декабря 1898 года: несколько месяцев спустя после открытия полония, статья Академии наук, подписанная Пьером и Марией Кюри и Гюставом Бемонтом, подтверждает существование нового неизвестного прежде элемента, содержащегося в уранините.

Авторы статьи только что открыли радий – вещество, которое тот час же стало всемирно известным.

В предыдущие месяцы Пьер и Мария Кюри опустошили небольшие запасы уранинита, которыми они располагали, в серии химических опытов, которые применялись в горной промышленности; полученные растворы урана активны..., но они замечают, что растворы осадков (свинец, медь, сурьма, а также еще не открытый ими радий), находящиеся в природной руде – уранините (урановой соляной обманке) оказались еще более активны. За несколько месяцев научное подтверждение существования радия было доказано физическими средствами, как например спектрометрией.

Пьер и Мария Кюри купили и получили для опытов некоторое количество австрийской руды, использовавшейся для получения урана. Для них эти рудничные отходы, в 4–5 раз более активные, чем металлический уран, получаемый из них, были сокровищем. И речи не могло быть о том, чтобы их перерабатывать в лаборатории Кюри на улице Ломон в самом сердце Парижа.

В действительности первые этапы химической обработки, которые требовали свободных площадей и рабочей силы, проводились на заводе Центральной компании химической продукции, на набережной Явэль, у моста Мирабо. Этот завод предоставил для опытов оборудование. Здесь длительные процессы извлечения и очистки радия ставились на промышленную основу.

На выходе с завода тонна урановой руды превращалась в 10–20 кг сульфатов, активность которых в 30–60 раз больше, чем активность урана. На складе на улице Ломон Пьер и Мария Кюри эти концентраты «очищают» путем серии процессов растворения-осаждения и очистки, разработка которых способствовала возникновению многочисленных идей в 1900–1902 годах.

В 1903 году Анри Беккерель совместно с Пьером и Марией Кюри получает Нобелевскую премию за выявление природной радиоактивности.

С этого момента другие лаборатории в Европе и Америке начинают интересоваться радием, и поэтому возникает острая конкуренция в сфере производства солей радия.

Поскольку, в действительности, процветающий рынок находился в процессе становления благодаря спросу исследовательских лабораторий, а также медиков, которые занимались поисками эффективного лекарства от рака.

Напомним, что, начиная с этой эпохи первооткрытий, чрезвычайная редкость радия в природе требует для его получения значительных материальных средств, поскольку, чтобы получить 1 грамм радия, нужно обработать 8 тонн обогащенной руды. К тому же, на реализацию этого производства требуется много времени и большие финансовые затраты. Пьер и Мария Кюри сотрудничают с промышленным производством, но по наивности либо по этическим соображениям не заявляют патента.

Таким образом, с 1904 года получение радия промышленным способом становится реальностью на территории Франции. В самом деле, промышленник Эмиль Арме де Лиль воспользовался возможностью и вложил средства в производство и реализацию солей радия на заводе Ножен-сюр-Марн в парижском регионе. По-видимому, особенно после Первой мировой войны, завод получал и обрабатывал вагоны руды из-за границы. В это время процессы обработки, которые были уже поставлены на хороший уровень, требовали на 1 тонну отходов урановых руд 5 тонн химических продуктов и 50 тонн промывной воды (воды для выщелачивания). После нескольких месяцев обработки, а затем – дробной кристаллизации в лаборатории, получали 1–2 миллиграмма очень активного бромистого радия. Первые миллиграммы радия, полученные на заводе Ножен-сюр-Марн, были бесплатно переданы Пьеру и Марии Кюри. Несколько лет спустя Генри Ротшильд построил другой завод по производству радия в Изль Сен Дени.

Производство радия становится промышленным и прибыльным бизнесом, продолжая оказывать материально-техническую поддержку супругам Кюри, вплоть до 1913 года, когда бельгийцы нашли в Заире залежи с более богатой рудой, что значительно снизило цены на радий.

Поскольку с 1904 г. по 1913 г. цены на радий продолжали расти: в США, которые с 1913 года понемногу начинают доминировать на этом рынке, цена за грамм доходила до 160 тысяч долларов. Во Франции грамм бромида радия стоил 400 тысяч франков, а чистого радия – 750 тысяч франков. В то время радий стоил намного дороже золота, примерно в 200 тысяч раз, что в переводе на сегодняшний курс означает 15 миллионов франков за грамм».

Тем не менее исследования радиоактивности велись в университетских центрах Москвы (профессор А.П. Соколов и др.), Санкт-Петербурга (профессор И.П. Бергман и др.), Одессы (профессор Е.С. Бурксер), Томска (профессора П.П. Орлов, Н.А. Газехус, лаборант В.С. Титов) и в некоторых других городах Российского государства (Кавказские минеральные воды и др.).

Радиоактивность начали изучать в России сразу же после её открытия А. Беккерелем в 1896 г. В этом же году на страницах журнала русского физико-химического общества (ЖРФХО) появилась заметка о том, что русские ученые, заинтересовавшись открытием А. Беккереля, сразу же попытались воспроизвести его опыты. 21 мая 1896 г. на 159-м заседании физического отделения РФХО профессор Военно-медицинской академии Н.Г. Егоров и А.Л. Гершун демонстрировали снимки, полученные с помощью урановых солей (Хвостова, 2006).



Пётр Павлович Орлов –
первый исследователь
радиоактивности в Сибири

Одним из первых ученых, начавших исследования в области радиоактивности природных объектов в России, был профессор Московского университета А.П. Соколов. В 1903 г. на годовом заседании Русского бальнеологического общества в Пятигорске он впервые указал, что учение об ионизации и радиоактивности атмосферного воздуха имеет большое значение для бальнеологии и климатотерапии и является новым не только в России, но и за границей, поэтому необходимо собрать научные материалы об этом явлении из разных мест России. В начале 1912 г. А.П. Соколов создал при Физическом институте Московского университета радиологическую лабораторию. По теме «Радиоактивность природных объектов России» им написано около 20 научных работ. Его ученики В.И. Баранов, В.А. Соколов, Е.С. Щепотьева стали одними из первых русских радиологов (Хвостова, 2006).

В Санкт-Петербургском университете исследованиями радиоактивности природных объектов занимался физик И.И. Боргман (1904). В 1904–1909 гг. со своим учеником А.П. Афанасьевым он исследовал радиоактивность минеральных грязей Кавказских, Крымских и других курортов (Хвостова, 2006).

В имеющихся обзорах по истории развития учения о радиоактивности (Gasparini Paolo, 1984; Зайцева, Фигуровской, 1961; Флеров, 1971 и др.), как правило, обсуждаются достижения ученых Европы и европейской части России.

Исключение составляет диссертационная работа М.С. Хвостовой «История изучения естественной и искусственной радиоактивности природных объектов России» (2006), материалы которой используются при написании данного раздела.

Имеющиеся в Томске архивные материалы позволяют утверждать (Рихванов, Лозовский и др., 1991; Хахалкин, 1991; Рихванов, 1997 и др.), что и в азиатской части России, особенно в центре сосредоточения научной мысли – городе Томске, исследования этого нового явления проводились не менее активно, чем в признанных столичных городах России, и практически одновременно с началом исследований по этой проблеме в Москве и Санкт-Петербурге.

Прежде всего, этому способствовало то, что первые сибирские вузы (Томский государственный университет с его медицинским факультетом и Томский технологический институт) укомплектовывались научными кадрами Московского и Санкт-Петербургского университетов, имеющих прочные связи с научными кругами Европы.

Так, один из ректоров ТГУ профессор Н.А. Гезехус был выходцем Санкт-Петербургского технологического института и занимался изучением теплового действия лучей радия. Его работы по этому направлению обсуждались в научных кругах уже в 1903 году, т. е. непосредственно в тот год, когда это явление было обнаружено.

Выпускниками европейских вузов России были и другие первые исследователи явления радиоактивности и радиоактивных элементов в Сибири (П.П. Орлов, В.С. Титов, Д.В. Алексеев, П.П. Пилипенко, П.П. Гудков, М.Н. Соболев, В.А. Обручев и др.).

Хаос гражданской войны разметал и уничтожил многие архивные материалы тех лет, а что осталось незатронутым – частично или полностью было изъято из открытого пользования и помещено в спецхранилища (материалы П.П. Орлова) либо уничтожено в годы репрессий.

Сегодня эти материалы собираются по крупицам из различных разрозненных, несистематизированных источников, средств массовой информации. И сегодня мы имеем далеко не полный перечень имен сибирских исследователей явления радиоактивности.

При описании этих исследований трудно сохранить строгую последовательность событий, так же как трудно определить значимость тех или иных исследований. Все работы спрессованы практически в одно десятилетие (1904–1914 гг.) и взаимораскрывают, дополняют друг друга.

Наиболее полно и обстоятельно в российской научной исторической литературе освещена роль профессора медицинского факультета Томского государственного университета Петра Павловича Орлова. Уже в 1904 году, прибыв в Томск, он начал подготовку к проведению исследований по радиоактивности. В письме академику В.И. Вернадскому от 26 декабря 1904 года он писал:

«Медиков интересует сейчас особенно радий. Хлопочу об отпуске денег на покупку его препаратов и кой-каких приборчиков... Надеемся с П.П. Пилипенко отыскать здесь урановые и ториевые минералы...».

В 1907 году за счет личных средств он организует экспедиции в Енисейскую губернию (первая экспедиция Российской академии наук была организована только в 1908 г.). В ней принимали участие студенты томских вузов М.П. Орлов, Б.К. Шишкин. Были получены результаты по радиоактивности воздуха на руднике «Юлия», минеральных вод оз. Шира, Доможаково. П.П. Орлов отметил довольно высокую активность ключей и колодцев г. Томска, р. Томи в зимнее время и т. д.

В октябре-ноябре 1909 года профессор П.П. Орлов выступает на заседаниях Общества испытателей и врачей при Томском государственном университете с докладом «Радиоактивные вещества и их нахождение в природе».

Он отмечает находки радиоактивных минералов Алтая, доставленных П.П. Пилипенко (ученик В.И. Вернадского, который по его личной просьбе был в свое время принят В.А. Обручевым на работу младшим лаборантом кабинета минералогии ТТИ).

В 1912 году П.П. Орлов по просьбе директора Томского технологического института Н.И. Карташова исследует образец минерала, доставленного в ТТИ Восточно-Сибирским отделом Русского географического общества. Минерал оказался ортитом с весьма интересными свойствами, о которых было сообщено в материалах Географического общества в 1914 году.



Вениамин Семенович Титов, лаборант Томского технологического института – первый исследователь радиоактивности минеральных вод Белокурихи (Алтай).

Фото из архива музея ТПУ

В 1914 году была показана высокая радиоактивность ключей по р. Ушайке (Заварзинские источники).

В 1915 году работа профессора П.П. Орлова «К вопросу о нахождении радиоактивных веществ в шлихах золотоносных областей России» была опубликована в виде отдельного 6-го выпуска книги «Труды Радиевой экспедиции Императорской академии наук». Своей практической направленностью данная работа и сегодня представляет интерес для исследователей радиоактивности Сибири.

У П.П. Орлова были тесные связи с ТТИ. В своем письме В.И. Вернадскому от 01.07.1913 г. он пишет: «... пользуясь знакомствами в технологическом институте, стараюсь пропагандировать изучение радиоактивных веществ...».

В 1917–1926 гг. профессор П.П. Орлов вел курс лекций «Радиоактивные элементы, их свойства и нахождение в природе» на физико-математическом факультете ТГУ.

Из анализа сохранившихся материалов видно, что при исследовании радиоактивности и радиоактивных веществ в Сибири у П.П. Орлова были весьма тесные контакты с профессорами Томского технологического института А.И. Ефимовым (зав. кафедрой физики), Д.А. Алексеевым (химии), геологами и горняками П.П. Гудковым, А.В. Лаврским, Б.Л. Степановым, Л.Л. Тове и др.

По-видимому, такой тесный контакт разнопрофильных специалистов, привлеченных П.П. Орловым, и позволил ему разработать фундаментальную научную программу по изучению радиоактивности и радиоактивных веществ в Сибири, которая, по оценке ряда специалистов, была наиболее интересной (Портнов, 1975).

П.П. Орлов был первым исследователем Сибири, кто определял радиоактивность природных объектов на месте, разработав методику и аппаратуру для определения степени радиоактивности источников и атмосферного воздуха, исследовал минералы и горные породы в химической лаборатории Томского университета, а также вел работу по созданию радиологической лаборатории. В общем, П.П. Орлов первым разработал фундаментальную научную программу по изучению радиоактивности и радиоактивных веществ в Сибири.

В технологическом институте это направление исследований наиболее ярко представлял Вениамин Семенович Титов (лаборант кафедры физики, ученик профессора П.Н. Лебедева, будущий профессор МГУ). К изучению радиоактивности вод Белокурихи (Алтай) В.С. Титов, по-видимому, приступил в 1905 г., так как в архивных документах есть его заявление от 25 мая 1905 года с просьбой командировать на Алтай (цель командировки не указана), и уже в марте 1908 года, в прошении на имя директора института, он пишет:

«Летом 1907 года я имел случай провести, благодаря выписанным физической лабораторией вверенного Вам института приборам Эльстера и Гейтеля, наблюдения радиоактивности теплых минеральных источников деревни Белокуриха на Алтае. Эти наблюдения убедили меня в очень большой радиоактивности названных минеральных вод».

«...Кроме того, я убедился, – пишет В.С. Титов, – в чрезвычайно большой, превосходящей, по-видимому, радиоактивность газа Нарзана, радиоактивности газа, выделяющегося из Белокуринских источников».

На основании этой записи Совет Технологического института в 1908 году командировал В.С. Титова и студента В.П. Маркова в экспедицию по детальному изучению радиоактивности вод и газовых терм деревни Белокуриха, выделив для этих целей 300 рублей (для ориентировки стоимость одной коровы тогда составляла 10 рублей).

В начале 1909 года с материалами по радиоактивности вод Белокурихи на XII съезде естествоиспытателей и врачей были ознакомлены специалисты России (Дневник № 9, 1909–1910).

В 1913 году в Томске по распоряжению директора технологического института издается книга В.С. Титова «Радиоактивная эманация в водах и газах терм деревни Белокуриха на Алтае».

Данная книга интересна специалистам и сейчас, так как позволяет наблюдать динамику изменения радиоактивности в водах и газах.

Позднее изучением радиоактивности этого источника занимались многие ученые г. Томска, в том числе Д.В. Кузнецов, обстоятельные анализы которого по этой проблеме опубликованы в 1936 г. (Кузнецов, 1936). При этом обращалось внимание и на радиоэкологические эффекты радона. Так, профессор ТГУ В.П. Чехов (1936) публикует статью о влиянии лечебной воды курорта Белокурихи на развитие растений, отмечая как стимулирующее, так и угнетающее воздействие (Чехов, 1936).

Как пишет в своём исследовании М.С. Хвостова (2006), в журнале «Курортное дело» в 1926 г. была опубликована статья М.П. Орловой, сотрудника Томского государственного университета, также изучавшей радиоактивность природных объектов Сибири. В ней она подводит некоторые итоги исследований радиоактивности природных объектов Сибири и выделяет типы концентраций радиоактивных веществ: 1) коллоид, притягивающий радиоактивные элементы; 2) сами радиоактивные вещества, которые могут выпадать из растворов в виде гелей, концентрируясь таким образом в природных глинах; 3) изоморфные смеси, которые дает радий с нерадиоактивными осадками; 4) аккумуляция пористыми телами (каменный уголь); 5) отложения, образующиеся в процессе выветривания урановых и ториевых руд.

По радиоактивности сибирских грязей М.П. Орлова отмечает, во-первых, исследованную А.П. Соколовым (1905) читинскую глину, которая была ему прислана; во-вторых, исследования в лаборатории неорганической химии Томского государственного университета профессором П.П. Орловым и другими лицами радиоактивности различных грязей и отложений источников. М.П. Орлова приводит эти определения в виде таблицы. Наиболее радиоактивной оказалась грязь с железистого источника курорта «Молоковка», но запас ее незначителен. Также М.П. Орлова отмечает, что в Иркутском университете профессор С.А. Арцыбашев в 1924 г. провел исследование некоторых сибирских грязей на радиоактивность.

Зимой 1924 г. в лаборатории неорганической химии Томского государственного университета М.П. Орлова сама проводила исследования некоторых сибирских грязей на радиоактивность. В результате сделанных измерений она пришла к выводу, что грязи вообще мало радиоактивны. Наиболее радиоактивными оказались 2 вида грязи: с озера № 5 группы Балпаша, находящегося в 20 верстах от курорта «Боровое» и грязь с Бармашинского питьевого ключа (при впадении его в озеро Щучье, находящееся также в 15 верстах от курорта «Боровое»). Эти образцы, по предложению М.П. Орловой, были более подробно исследованы доктором Г.И. Крылевским для выяснения причины их радиоактивности.

Исследования М.П. Орловой указывают на особый интерес, который приобретает эта местность в связи с обнаружением здесь источников с повышенной радиоактивностью. П.П. Орлов и М.П. Орлова установили, что грязи озера № 5 группы Балпаша и Бармашинского питьевого ключа, по сравнению с наиболее радиоактивной грязью Фанго в Италии, являются почти равноценными ей в смысле величины активности, и могли бы быть использованы для лечебных целей, тем более что в озере № 5 ее значительный запас.

М.П. Орлова (1926, с. 20) отмечает, что исследование радиоактивности сибирских грязей можно считать только что начавшимся, т. к. исследования, которые были произведены на тот момент, – *«капля в море по сравнению с громадной территорией Сибири, еще не изученной в этом плане и возможно таящей в своих недрах великие богатства – достояние будущего»*.

Историческим моментом в изучении явления радиоактивности и радиоактивных веществ в Сибири была встреча российских ученых с московским купцом П.П. Рябушинским. В личном архиве одного из основателей Томского политехнического университета – знаменитого ученого, писателя и путешественника академика Владимира Афанасьевича Обручева, хранятся интересные записки о его встрече с этим известным предпринимателем и спонсором науки. Встреча происходила у Рябушинского дома и носила неофициальный характер. Велись беседы с чаепитием.

Встреча происходила в четверг 14 ноября 1913 (1910) года на московской квартире Павла Павловича Рябушинского. На эту встречу были приглашены В.И. Вернадский, В.А. Обручев, В.Д. Соколов и другие известные ученые. Всего пришло 12 человек.

Рябушинский с интересом выслушал рассказы профессоров Вернадского, Шилова и других ученых о радиации, его значении для науки и человека и о будущем, которое его ожидает. Он, как коммерсант и деловой человек, весьма заинтересовался этим делом и задавал много вопросов. Прощаясь, сказал, что готов профинансировать поиски радия и радиоактивных элементов, но при соблюдении определенных условий теми, кто практически будет осуществлять эти поиски за счет его средств. Как деловой человек, он уже тогда думал, какие практические выгоды можно извлечь из разработки комплекса вопросов, связанных с поисками, добычей радия и применения его на практике.

После встречи П.П. Рябушинского с учеными были приняты меры по ускорению поисков радиоактивных элементов в России. За счет промышленников было организовано две комплексные экспедиции: в Среднюю Азию (в Фергану) и в Забайкалье.

Независимо от этих экспедиций, поисками радия занялись и практические геологи, работавшие в Сибири. После встречи у купца П.П. Рябушинского, в Москве Владимир Афанасьевич Обручев предпринял шаги по организации поисков радия в Сибири. Он направил через своего ученика, ставшего его преемником на кафедре в Томском технологическом институте, профессора П.П. Гудкова большую статью, которая вскоре была опубликована в томской газете «Сибирская жизнь» под названием «Ищите радий». В этой статье В.А. Обручев популярно изложил представления о радиации, какую службу он сослужит людям и призвал искать месторождения радия и радиоактивных элементов. Получив письмо своего наставника, Гудков собрал всех работавших под его началом геологов, а также студентов горного отделения, проходивших практику в Сибири, прочел им лекцию о радиации и радиоактивных элементах и предложил попутно с исполнением основных работ по разведке месторождений руд заниматься еще и поисками радия. Однако результаты этих поисков были малоутешительны. Крупных месторождений тогда открыто не было.

Причиной этого было то, что никто практически ничего не знал о радиоактивности руд и еще не была разработана методика поисков этих руд.

О подробностях, как в эти годы сибиряки искали радий, рассказывал бывший студент горного отделения Томского технологического института, впоследствии знаменитый сибирский геолог профессор Николай Николаевич Урванцев.

Студент Урванцев под руководством профессора Гудкова работал в 1913–1917 гг. в Кузбассе на разведке месторождений железных руд. Для поиска радиоактивных руд приборов не существовало. Пользовались рекомендациями П.П. Гудкова. Небезынтересно, что ураноносность железных руд Кузнецкого Алатау была доказана только в пятидесятые годы (Т.М. Кайкова и др.).

Снаряженная на деньги П.П. Рябушинского специальная экспедиция занималась поисками радиоактивных элементов в Забайкалье летом и осенью 1914 года. Возглавил Забайкальский отдел Михаил Николаевич Соболев, экономист по образованию. Крупный ученый, он ряд лет проработал

в Томском университете и в Томском технологическом институте. Он был в большой дружбе с профессором В.А. Обручевым, исследователем Забайкалья и Монголии Г.Н. Потаниным и многими другими учеными, занимавшимися исследованиями Сибири. Профессор М.Н. Соболев был опытным исследователем, хорошо знал местность и, возможно, именно поэтому ему, не специалисту в области геологии, и поручили возглавить Забайкальский отдел Московской экспедиции, как официально была названа тогда эта группа исследователей. Профессор вынужден был заключить с П.П. Рябушинским договор. В соответствии с ним, он не имел права во время работы собирать лично для себя коллекции, делать описания месторождений, передавать, кому бы то ни было любые сведения по работе экспедиции. Все, что касалось экспедиции и ее работы, являлось личной собственностью П.П. Рябушинского, и только он один мог распоряжаться всеми материалами работы.

В работе Забайкальской экспедиции приняли участие многие видные ученые в области петрографии, минералогии, геологии. В числе сотрудников экспедиции, по рекомендации В.А. Обручева, был студент горного отделения Томского технологического института Николай Караханов. В конце 1914 года Н.М. Соболев опубликовал краткое сообщение об итогах работы Забайкальской экспедиции. Оно хранилось в личном архиве А.А. Чернова в Институте геохимии им. Вернадского.

Весьма интересной для населения Томской губернии была статья Дмитрия Викторовича Алексеева в газете «Сибирская жизнь» от 9 декабря 1905 года, в которой автор, сотрудник кафедры химии Томского технологического института, рассказывал о свойствах радия и о его возможном значении для человека.

Д.В. Алексеев опубликовал еще ряд статей по влиянию радиоактивности на живые организмы. По данным И.Т. Лозовского, он уже в 1904 году занимался изучением радиоактивности и радиоактивных веществ. Из газетных сообщений известно о его публичной лекции в г. Томске (газета «Сибирская жизнь» 6 февраля 1904 г.).

К сожалению, его, а позднее и В.С. Титова, как неблагонадежных преподавателей, выслали из Томска, и далее вопросами радиоактивности они не занимались.

Первая мировая, затем гражданская война, начавшиеся вскоре после того, как томские технологи приступили к поискам радиоактивных элементов, значительно осложнили работу в этом направлении. Многие геологи и студенты были призваны в армию. Затем в Сибири наступил хаос. Замерзли лаборатории. Исследования надолго были прерваны.

Сложной была судьба этих исследователей. Так, геолог П.П. Гудков, возглавивший на недолгое время, по просьбе В.А. Обручева, работы в Сибири по поискам радия, был вынужден в 1919 году уехать из Томска во Владивосток, а два года спустя оттуда он уехал в США и там остался. В Америке он работал до самой кончины (1955 г.). П.П. Гудков скончался академиком, главным консультантом США и Мексики по нефти, членом многих научных обществ зарубежных стран. Он скончался крупнейшим геологом мира, знаменитым американским ученым, но всегда оставался при этом истинно русским человеком. Об этом весьма убедительно свидетельствуют его многочисленные письма из США, которые сохранились до наших дней.

Только неблагоприятные обстоятельства помешали томским политехникам в начале века успешно работать в области радия и радиоактивных элементов.

В этот период предвоенного и предреволюционного состояния научной общественностью практически незамеченной осталась командировка В.И. Вернадского в 1914 году в Томскую (командировочное удостоверение сохранилось) и Иркутскую губернии, а также поездка Марии Кюри-Склодовской в Красноярск.

Как отмечает А.А. Хахалкин (1991), В.И. Вернадский посетил в июле 1914 г. Сибирь. Он работал в Слюдянке и в Забайкалье. В своих воспоминаниях он пишет:

«... Весь план работы мы выполнили, но, признаюсь, было временами довольно трудно вести работу среди мобилизации и тревоги...».

Интерес к радиевым рудам в Сибири, по-видимому, был не случаен. А.А. Хахалкин (1991) высказывает мысль, что это связано с высокой ценой на радий в мире, а также то, что в 1913 году правительства Австро-Венгрии и Германии (главные поставщики сырья для получения радия) наложили запрет на вывоз радиоактивных руд из своих стран, объявив их государственной собственностью.

Из сообщений печати было известно, что районы Сибири весьма интересны для выявления руд, содержащих радий. Так, только в 1914 году в журнале «Горные и золотопромышленные известия» было опубликовано свыше 30 материалов по данному вопросу (Хахалкин, 1991)¹.

Именно в последней работе сообщалось *«... о выезде экспедиции во главе с Кюри на Байкал для разведки урановых руд ...».*

Эта заметка используется В.А. Обручевым при составлении книги «Библиография Бурят-Монголии (1890–1936)», на которую ссылаются советские историографы науки при обсуждении вопроса о практически незамеченном в научном мире факте пребывания дважды лауреата Нобелевской премии, выдающегося исследователя радиоактивности и радиоактивных элементов Марии Кюри в Сибири (Старосельская-Никитина, 1963).

К сожалению, работа с архивом Марии Кюри в Париже показала, что это, похоже, была красивая легенда и она в Сибири, по-видимому, не была (Рихванов, 2009).

Как отмечает М.С. Хвостова (2006), большой объем исследований минеральных источников Забайкалья был проделан доктором И.А. Багашевым. Еще в 1905 г. он написал книгу, содержащую описание 165 минеральных источников Забайкалья и результаты 61 анализа этих источников (Багашев, 1905).

12 мая 1910 г. на объединенном заседании Физико-медицинского общества при Московском университете И.А. Багашев сделал доклад «Минеральные источники Забайкалья и задачи их изучения» (1910). Он развивал в этом докладе основные положения, изложенные ранее в его книге «Минеральные источники Забайкалья» (1905), и показал важность и необходимость дальнейшего изучения минеральных источников Забайкалья. По его мнению, геологические особенности Забайкалья обусловили радиоактивность минеральных источников этой области. Кроме того, он ссылаясь на проделанные работы профессора А.П. Соколова (1905) по определению высокой радиоактивности глины из этой части России и П.П. Орлова (1912), отметившего, что в Забайкалье должны находиться радиоактивные источники.

Физико-медицинское общество выделило 500 руб. на продолжение работ доктора И.А. Багашева по исследованию источников Забайкалья.

О предварительных результатах произведенных исследований И.А. Багашев доложил обществу уже в октябре 1910 г. (Багашев, 1910). Он сообщил, что им были обследованы на радиоактивность минеральные источники шести районов Забайкалья. Радиоактивность вод двух последних районов с девятью казачьими поселками И.А. Багашев изучал в связи с тем, что в этих районах были распространены заболевания, такие как эндемический зоб и остеоартрит, связанные, по его мне-

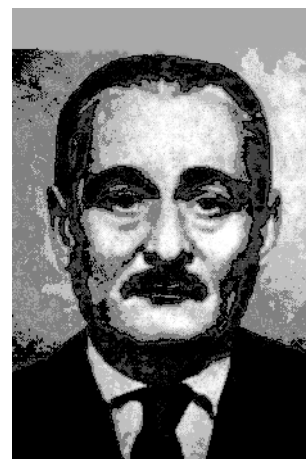
¹ Борейша В.М. О необходимости широкого общественного почину в деле поисков и исследования радиоактивных руд России. №7, 1914. С.135–144; Радий в Сибири. №2, 1914. С.36; Урановая руда на Байкале. №12, 1914. С.257.

нию, с питьевой водой. Всего же им было исследовано на радиоактивность 60 источников Забайкалья, было произведено 112 отдельных определений радиоактивности. В результате проделанной работы И.А. Багашев установил, что обследованные им источники обладают довольно большой радиоактивностью, обусловленной, по-видимому, наличием эманации радия в воде. Одновременно им было установлено, что заболевание населения казачьих поселков зависит от высокой (от 2,25 до 10,22 ед. Махе) радиоактивности питьевой воды (Багашев, 1911).

Радиоактивность некоторых источников Сибири попутно с исследованием руд месторождений золота определял в 1910 г. геолог-минералог В.К. Котульский, производивший в это время исследования в Баргузинском округе по заданию Геологического комитета. Им были исследованы на радиоактивность: Туркинские горячие серные воды, Гаргинский серный горячий ключ, Сеюйские серные воды, горячий ключ Кучихыр, Умхейские горячие воды, горячий ключ Мегдылкон, Монгойские горячие ключи, теплые ключи на берегу озера Иркано, холодный ключ на левом берегу Верхней Ангары и горячий ключ на правом берегу р. Джелинды (Котульский, 1912). Кроме того, В.К. Котульский измерил активность воздуха пещеры, расположенной в известняках пади Пещерной. Радиоактивность большинства исследованных им источников была невелика, за исключением холодного Верхне-Ангарского ключа, радиоактивность которого оказалась самой высокой в мире (10776 ед. Махе). Однако результаты, полученные В.К. Котульским, вызвали сомнение, так как при втором измерении он получил цифру 8568, а при третьем – 4968 ед. Махе. Столь высокая радиоактивность источников не подтвердилась исследованиями Е.С. Бурксера (1915).

Л.Н. Богоявленский (1925, 1926) также много сделал для определения радиоактивности в природных объектах Сибири. В 1920 г. Сибирский отдел здравоохранения обратился в Геологический комитет с просьбой направить Л.Н. Богоявленского для определения радиоактивности горячих источников у села Новая Белокуриха Алтайской губернии. Л.Н. Богоявленский (1926) подтвердил вывод В.С. Титова о том, что радиоактивность источников обусловлена эманацией радия. К сожалению, в своей работе этот исследователь не удосужился упомянуть об изучении радиоактивности курорта Белокуриха томским исследователем В.С. Титовым в 1905–1909 годах, опубликованных в 1913 г. (Титов, 1913).

В Белокурихе Л.Н. Богоявленский должен был помочь найти новые источники минеральной воды. Геологическая карта этого района еще не была составлена, поэтому Л.Н. Богоявленский разработал свою систему поиска. По его мнению, выходы горячей радиоактивной воды должны быть связаны с вероятно существующей системой трещин, по которым вода поступает на поверхность, создавая повышенную радиоактивность. Л.Н. Богоявленский изготовил простейший электроскоп, измерил радиоактивность воздуха непосредственно у источников и в нескольких точках на территории курорта. Значения повышенной активности нанес на план местности и по этим точкам попытался определить систему сбросов и трещин. По его указанию в зоне сбросов и трещин были пробурены скважины, которые дали приток радиоактивной воды. Свои измерения по аналогии с геодезической и геологической съемкой он назвал радиометрической съемкой (Богоявленский, 1925). Этот термин вскоре был принят и другими исследователями (Хвостова, 2006). На статьи Богоявленского ссылались в советской и иностранной научной литературе, а предложенный им метод сразу стал одним из направлений геофизики-радиометрии.



Л.Н. Богоявленский – исследователь радиоактивности вод. Ввел понятие «радиометрическая съемка»

Отчет по проведенным исследованиям Л.Н. Богоявленский переслал в Геолком, который был рассмотрен на очередном заседании в декабре 1920 г. и получил высокую оценку. Сам же Л.Н. Богоявленский сразу понял особую и широкую перспективу подобного измерения естественной радиоактивности для поисков природных вод, а может быть, и полезных ископаемых.

Имеющиеся архивные материалы позволяют утверждать, что в Томске с самого начала исследования явления радиоактивности им занимались не менее активно, чем в Москве, Санкт-Петербурге и Одессе. К пионерам исследований радиоактивности и радиоактивных элементов в Сибири можно отнести ректоров вузов Томска Н.А. Газехуса, Н.И. Карташова, профессоров ТТИ и ТГУ П.П. Орлова, В.С. Титова, Д.В. Алексеева, П.П. Пилипенко, П.П. Гудкова, М.Н. Соболева, В.А. Обручева и других.

Вторая волна исследований в этой области науки связана с открытием в Томске Сибирского физико-технического института (СФТИ), программа работы которого определялась с участием будущего руководителя «атомного проекта» страны И.В. Курчатова, который посетил город Томск в июне 1931 года. В этот период времени проблемами радиоактивности занимались профессора П.С. Тартаковский, М.И. Корсунский, Д.Д. Иваненко, В.Д. Кузнецов, В.П. Чехов, М.П. Орлова и др. В стенах СФТИ начинал свою научную деятельность будущий легендарный ректор Томского политехнического института (ТПИ) А.А. Воробьев.

В течение ряда лет радиометрическая съемка использовалась для разведки полезных ископаемых только с большим содержанием радиоактивных элементов, таких как радиоактивные воды и руды. Особое значение имели разведочные работы в Тюя-Муюне, на единственном в то время в нашей стране руднике, где проводилась промышленная добыча радиоактивных руд. Подготовка экспедиции в Тюя-Муюн заняла много времени. Но участвовать в экспедиции Л.Н. Богоявленскому не пришлось. Радиометрическую съемку сделал профессор Г.О. Ерчиковский.

Инженером-технологом Э.Э. Карстенсом (1908, 1910), работавшим в химической лаборатории Кавказских Минеральных Вод (КМВ), в 1907 г. были начаты исследования минеральных источников района КМВ на радиоактивность. Второго декабря 1908 г. на заседании Русского бальнеологического общества в Пятигорске он доложил о результатах. Им была определена радиоактивность 26 минеральных источников и составлена таблица активностей минеральных источников по группам. Были изучены: Пятигорские, Ессентукские, Железноводские, Кисловодские воды. Его исследования отличались от других тем, что измерение радиоактивности источников он проводил в полевых условиях, а не в лаборатории по истечении времени.

В 1910 г. под руководством Е.С. Бурксера была создана Одесская радиологическая лаборатория, целью которой являлось исследование атмосферы, воды, целебных грязей, минералов и руд Украины, Крыма и Кавказа на радиоактивность. Известна работа Е.С. Бурксера по радиоактивности углей в Кузбассе. Это был один из первых научных радиологических центров, оказавших влияние на развитие радиационных исследований в других регионах России.

«Труды химической и радиологической лаборатории», выпускаемые Е.С. Бурксером с 1911 г., были одним из первых в России печатным систематическим изданием по изучению радиоактивности и их носителей – радиоактивных элементов.

Радиоактивность некоторых природных объектов Крыма и Кавказа изучал выпускник Московского университета, химик-радиолог В.И. Спицын. В основном это исследования грязей, минеральных источников и пород, в частности в Кубанской области в местечке Алексеевский Горячий ключ в период с 1914 по 1921 г.

Первая информация о наличии месторождений радиоактивных минералов в России принадлежит И.А. Антипову, которому в 1899 году через химика Геолкома, профессора Б.Г. Карпова были

переданы образцы с медного месторождения Тюя-Муюн, обрабатываемого китайцами ещё в древности. В них И.А. Антипов обнаружил урановый минерал – хальколит (медный уранит). Об этом он сделал сообщение на Минералогическом обществе в 1900 году. Он отмечал, что урановые минералы в Российском государстве редкость, а исследованный им минерал является богатой урановой рудой. В 1904 году инженер Х.И. Автунович начал его добычу на личные деньги (Погодин и др., 1977).

Это были образцы с первого уранового месторождения Российского государства – знаменитого Тюя-Муюна, давшего в 1922 году первый российский радий (Погодин и др. «Как добыли советский радий», 1977), на изучении и освоении которого воспиталась большая плеяда специалистов в области урановой геологии, геохимии и химической технологии: А.Е. Ферсман, Д.И. Щербаков, В.Г. Хлопин, Г.О. Ерчиковский, Е.А. Ненадкевич, И.Д. Курбатов, С.П. Александров, И.Я. Башилов, А.А. Байков, А.П. Герасимов, Я.В. Самойлов, В.И. Спицын, А.С. Уклонский, А.А. Чернов и др.

Открытие радиоактивности привлекло внимание не только химиков и физиков, но и геологов, и прежде всего в Европе, обративших внимание, что с использованием этого явления можно определить возраст планеты и причину её тепла (Р. Стретт (Рэлей), Дж. Дждоли, Б. Болтвуд и др.).

26 октября 1904 года, открывая заседание Русского минералогического общества, академик А.П. Карпинский отметил, что радиоактивные вещества, открытые в минералах урана, представляют интерес как объект исследования, которым занимается общество (Ильина, 1973).

Геологи России еще не были подготовлены к пониманию величайшего открытия А. Беккереля, хотя в 1907 г., по представлению А.П. Карпинского, Ф.Н. Чернышева и В.И. Вернадского, Российской академией наук было принято решение начать систематическое изучение на территории России радиоактивных минералов, и даже была выделена сумма в 10 000 рублей.

Потребовалось время и была необходима гениальная интуиция В.И. Вернадского, присутствующего на докладе Дж. Дждоли в 1908 году на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки (Дублин, 1908). Вот как вспоминает об этом событии сам В.И. Вернадский на общем собрании 17-й сессии Международного геологического конгресса (Москва, 1937): *«Я думаю, что немногие здесь присутствующие были на съезде в Дублине в 1908 году и имели счастье слушать доклад Дждоли и с ним беседовать. Мне Дждоли тогда открыл глаза, и в 1910 г. я выступил в заседании Академии наук с речью “Задачи дня в области радия”»*.

Этот программный доклад определил направление деятельности его организационного и научного потенциала на многие годы творческой жизни учёного. Он стал лидером российской науки в области изучения природной радиоактивности и её носителей – радиоактивных элементов.

По-видимому, этот год следует считать началом зарождения науки о радиоактивных элементах в России.

В 1909–1910 гг. Академией наук, совместно с Минералогическим обществом, был командирован для изучения месторождений радиоактивных минералов в Фергану сотрудник В.И. Вернадского К.А. Ненадкевич. Им был собран и привезен большой материал.

Он организует систематический выпуск книги «Труды Радиевой экспедиции Академии наук», в которых печатаются его программные статьи и исследования других ученых, в том числе публикуется работа П.П. Орлова (1915) в области радиоактивности.

Летом 1911 г. Академией наук были организованы первые исследования радиоактивных минералов в Забайкалье, Закавказье, Фергане, на Урале, в которых приняли участие В.И. Вернадский, Я.В. Самойлов, К.А. Ненадкевич, Г.И. Касперович, Е.Д. Ревуцкая, В.И. Крыжановский, А.Е. Ферсман и др. Эти исследования длились 3 года, отчеты о проделанной работе опубликованы в книге «Труды Геологического и Минералогического музея АН».

В 1911–1912 гг. в Санкт-Петербурге под руководством В.И. Вернадского была организована Минералогическая лаборатория при Геологическом и Минералогическом музее Академии наук. В Минералогической лаборатории изучались радиоактивные минералы. На базе лаборатории в 1922 г. создан Радиевый институт, роль которого в становлении и развитии учения о радиоактивности в России трудно переоценить.

Изучив ссылки на месторождения радиоактивных минералов в Российской империи, В.И. Вернадский (1912) пришел к выводу о малой изученности страны в этом отношении.

В 1914–1916 гг. были осуществлены экспедиции на Урал, Кавказ, в Среднюю Азию, Сибирь, Забайкалье и Южное Прибайкалье. В экспедициях участвовали: В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, В.И. Крыжановский, Е.Д. Ревуцкая, Д.И. Мушкетов, Д.В. Наливкин, Л.С. Коловрат-Червинский, К.А. Ненадкевич, В.А. Зильберминц и др. Богатейшие материалы, собранные участниками экспедиций, прерванных в связи с Первой мировой войной, были перевезены в Геологический комитет и Минералогическую лабораторию для последующих исследований. В.И. Вернадский организовал издание книги «Труды Радиевой комиссии», в которой помещались отчеты о работе экспедиций (всего в свет вышло 10 номеров).

В 1915 г. была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил России (КЕПС) под руководством В.И. Вернадского. После 1917 г. КЕПС развернула большую экспедиционную и научно-исследовательскую работу по изучению полезных ископаемых страны, географическому описанию, составлению почвенной карты и по поискам месторождений радиоактивных минералов и руд.

По мере того, как накапливались данные о содержании радиоактивных веществ в земной коре, минеральных водах, глинах, почвах и об ионизации воздуха, появилось понятие о естественном радиационном фоне. Основателем учения о естественном радиационном фоне является В.И. Вернадский (1926, 1965), им были сформулированы фундаментальные идеи о роли радиогенного тепла в эволюции Земли, закономерностях рассеяния и аккумуляции естественных радионуклидов, очерчены основные контуры исследования естественного радиационного фона как самостоятельной научной проблемы.

До 40-х гг. изучение естественной радиоактивности природных объектов проводилось эпизодически, исследователи не располагали достаточно точными методиками определения радиоактивных веществ. К работам в этот период относятся также исследования В. Оболенского (1919), В.И. Баранова (1926, 1929), Е.Г. Грачевой (1928, 1938), А.А. Ломакина (1927), Е.С. Меркуловой (1937) по радиоактивности атмосферы и атмосферных осадков. Изучением радиоактивности минеральных источников занимались: В.И. Баранов, А.Н. Огильви (1916), И.Е. Старик (1936) и др.

Основатель биогеохимии В.И. Вернадский (1926, 1965) показал, что существует зависимость биохимических процессов в организмах и развития жизни на Земле от химического элементарного состава земной коры, включая явление радиоактивности. Для изучения химического состава живого вещества создаётся отдельный отдел при КЕПС, который затем преобразуется в специальную биогеохимическую лабораторию (Биогел), работу которой возглавлял В.И. Вернадский, а его главным помощником становится А.П. Виноградов, с которым в дальнейшем связан новый этап развития геохимии. Исследования в этом направлении вели А.Е. Ферсман, А.П. Виноградов и др., которые установили, что большое влияние на распределение и миграцию урана в биосфере оказывает химический состав почвообразующих пород, природных вод и особенности процессов почвообразования в различных биоклиматических зонах.

В СССР изучением содержания урана и радия в почвах занимались В.И. Баранов и С.Г. Цейтлин (1941).

В 1932 году В.И. Вернадский делает доклад в Германии и Бунзеневском обществе, в котором поднимается вопрос о необходимости составления радиоактивной карты биосферы на основе количественного изучения рассеянных радиоактивных атомов (U, Th, Pa, Ra, Rb и т. д.) в количественном их распределении, нанесенном на детальную геологическую и минералогическую карту, т. е. впервые ставится вопрос о составлении радиогеохимической карты России. Идея создания этой карты была реализована значительно более позже, почти через 40 лет (А.А. Смыслов, «Радиогеохимические исследования ...», 1974 и др.).

Через 24 года после своего первого выступления на общем собрании Российской академии наук В.И. Вернадский, выступая с докладом в отделении математических и естественных наук «О некоторых очередных проблемах радиогеологии» (Известия Академии наук СССР, 1935, № 1), подвел итог исследованиям в области изучения радиоактивности и радиоактивных элементов применительно к геологическим наукам. *«Сейчас можно и нужно говорить о новой создающейся науке – о радиогеологии – науке о радиоактивных свойствах нашей планеты... Она не только имеет для нас глубочайшее значение, так как связывает с новой физикой и с новой химией, в конкретной земной обстановке, науки о жизни и о нас самих, но и потому, что она дает в руки человека новые пути и новые формы овладения природой, новую силу»* (Вернадский, 1935, с. 2).

В этой же работе он говорит, что подготовительная работа по созданию этой новой науки закончена.

В своем докладе «О значении радиогеологии для современной геологии» на Международном геологическом конкурсе в Москве (1937) он делает вывод об особенностях геохимии радиоактивных элементов, что они являются рассеянными и «всюдными». *«Все земное вещество без исключения (горные породы, минералы, воды, газы, живые организмы) проникнуто атомами радиоактивных элементов, все содержит – соответственные радиоактивному распаду их количества...»*, – пишет В.И. Вернадский (Вернадский, 1939, с. 215–230). Ссылаясь на В.Г. Хлопина, естествоиспытатель приводит среднее содержание радиоактивных элементов в планете и выделяемом ими тепле (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Содержание радиоактивных элементов в планете Земля и количество выделяемого ими тепла

Элемент	Количество элемента в граммах	Количество тепла, Гкал/час
Уран	$28,08 \cdot 10^{20}$	$22,15 \cdot 10^{16}$
Торий	$92,11 \cdot 10^{20}$	$20,27 \cdot 10^{16}$
Калий	$8,81 \cdot 10^{21}$	$8,48 \cdot 10^{15}$
Рубидий	$2,99 \cdot 10^{22}$	$1,99 \cdot 10^{14}$
Самарий	$2,62 \cdot 10^{23}$	$6,17 \cdot 10^{15}$

Обращает на себя внимание величина Th/U отношения, составляющая, согласно этим данным, 3,3. Это находится в соответствии с постоянством этой величины для магматических горных пород.

В шестом разделе «Очерков геохимии» (третье русское издание, 1934) В.И. Вернадский делает обобщение по основным вопросам геохимии радиоактивных элементов. Отмеченные ими геохимические особенности урана и тория находят полное подтверждение в последующих работах всех специалистов, работающих в этом направлении.

Прежде всего, это общие и отличительные особенности геохимии урана и тория в магматическом, гидротермальном и эндогенном процессах, обусловленной разными валентностями нахождения в природе урана (+4, +6) и тория (только +4); «всюдность» их присутствия; постоянство величин $Th : U$ отношения в продуктах магматических процессов; существование радиоактивного равновесия между Ra и U, принимаемом за $3,7 \cdot 10^{-7}$, Ra на 1 г U.

В соответствии с этим он выделяет три типа месторождений урана и тория:

- 1) минералы пегматитовых жил кислых пород;
- 2) минералы, осажденные в минеральных жилах из гидротермальных водных растворов при сравнительно высокой температуре и давлении;
- 3) минералы, образованные в биосфере или в стратосфере из урансодержащих растворов при невысокой температуре.

В заключение этого раздела он пишет: «*Надо найти и познать радиогеохимию планеты, часть новой области геологии – радиогеологии*» (Вернадский, 1934).

Обращает на себя внимание огромное количество ссылок на первоисточники в этой работе... Их более 1 000. К великой чести В.И. Вернадского надо признать, что он был в курсе всех наиболее важных событий и публикаций в этой области, которые были на тот момент времени (табл. 1.2), чего не скажешь о зарубежных авторах, если, например, судить по книге «Ядерная геология», написанной 24 ведущими учёными западных стран, изданной Геологической службой США и переведённой на русский язык в 1957 году.

В этой весьма интересной и полезной книге нет ссылки и на В.И. Вернадского, хотя есть ссылки на некоторые работы российских учёных.

Этот этап становления учения о геохимии радиоактивных элементов можно назвать радиевым. В первую очередь изучалось именно его содержание в природных объектах и, соответственно, его материнский изотоп – уран. Исследования велись с использованием электроскопов с предварительной радиохимической подготовкой, стали появляться методы альфа-радиографии с использованием ядерных фотоэмульсий (Л.В. Мысовский, И. Кюри и др.).

Для интенсификации работ по радию в 1918 году в Петрограде было создано Радиевое отделение, работой которого руководил Л.С. Коловрат-Червинский и одновременно создается Радиевая ассоциация, предтеча будущего Радиевого института. После многочисленных преобразований и объединений в 1922 году утвержден Радиевый институт РАН, который возглавил В.И. Вернадский.

В отличие от других радиевых институтов и лабораторий мира (Париж, Вена, Манчестер и др.), в российском его аналоге кроме физического (руководитель Л.В. Мысовский) и химического (руководитель В.Г. Хлопин) отделов существовал минералого-геохимический отдел, которым руководил В.И. Вернадский. Необходимость его была обусловлена тем, что надо было найти в России источники радиевых и мезоториевых руд. В этом же институте с 1928 по 1934 г. находилась знаменитая биогеохимическая лаборатория (БИОГЕЛ), в которой изучалась геохимия живого вещества, в том числе радиоактивных элементов (П.И. Марковский, Б.Н. Бруновский и др.).

Хронология наиболее важных событий, способствующих становлению и развитию учения о геохимии радиоактивных элементов

Год	Событие	Автор
1	2	3
1789	Открытие урана как химического элемента	М.Г. Клапрот
1828	Открытие тория как химического элемента	И.Я. Берцелиус
1896	Открытие явления засвечивания фотопластинки солями урана невидимыми лучами (лучи Беккереля), позднее названное Марией Кюри радиоактивностью	А. Беккерель
1898	Открытие радиоактивности у тория	Независимо друг от друга: Г. Шмидт (Германия); М. Кюри (Франция)
1898	Открытие нового радиоактивного элемента – полония (Po) из урановой руды. Впервые употреблен термин «радиоактивность»	М. и П. Кюри
1898	Открытие нового радиоактивного элемента радия (Ra) из урановых руд	М. и П. Кюри
1899	Открытие неоднородности излучения урана, альфа- и бета-радиоактивность	Э. Резерфорд
1899	Открытие газообразных радиоактивных элементов, без их идентификации	Р. Оуэнс
1900	Открытие изотопа UХ	Независимо друг от друга: В. Крукс; А. Беккерель
1900	Открыт новый радиоактивный элемент актиний (Ac)	А. Дебьерн
1900	Открытие торона (Tn) и его свойств	Э. Резерфорд
1902	Предложена теория распада. Высказана идея, что радиоактивность является эндотермической реакцией	Э. Резерфорд и Ф. Содди
1900	Расчёт тепла выделяемого U, Th, Ra	Э. Резерфорд и Мак-Кланг
1902	Обнаружение радиоактивности воздуха	Эльстер и Гейтель
1903	Открытие эманации радона (Rn)	П. Кюри и Ж. Данн
1903	Обнаружение выделения тепла солями радия	П. Кюри и А. Лаборд
1903	Установление факта, что He является продуктом распада Ra	В. Рамзай и Ф. Содди

1	2	3
1904	Установление факта, что соотношение Ra и U постоянно	Г. Мак-Кой
1906	Доказано постоянство отношения U/Ra и U/Th в земных телах	Э. Резерфорд и Б. Болтвуд
1905	Открытие радиотория	О. Ган
1905	Подтверждение факта постоянства Ra:U-отношения и предположение, что Pb может быть одним из продуктов радиоактивного распада	Б. Болтвуд
1905	Открытие радиоактивности рубидия (Rb)	Д. Дж. Томсон
1906	Статья о радиоактивной теплоте Земли	Джон Джоли
1906	Первые количественные определения содержания Ra в породах и минералах, расчёт выделяемого тепла	Р. Стретт (лорд Рэлей)
1906	Первая попытка расчёта абсолютного возраста по отношению He к U	Э. Резерфорд
1906	Исследование содержания радия в метеоритах	Р. Стретт (лорд Рэлей)
1907	Открытие нового радиоактивного элемента иония (Jo)	Б. Болтвуд
1907	Открытие радиоактивности калия (K)	Н. Кэмпбелл
1907	Установлено влияние радиоактивности на геологические процессы	одновременно Джон Джоли и Мюгге
1908	Установлено, что ядро плеохроичных дворигов радиоактивно. Определено содержание Ra в морской воде	Дж. Джоли
1909	Подтверждение, что только Rb является конечным продуктом урановой серии. Предложено уравнение радиоактивного распада	Дж. Грей Бэтман
1910	Публикации работы В.И. Вернадского	Э. Ферми
1910	Книга «О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи» и её публикация	Э. Ферми
1911	Издается монография «Химия радиоэлементов»	Ф. Содди
1912	Подготовлена монография «Радиоактивные вещества и их излучение», в которой впервые вводится термин «ядро»	Э. Резерфорд
1913	Вводится понятие «изотопы»	Ф. Содди
1914	Доказано, что гамма-излучение имеет электромагнитную природу и от рентгеновских лучей отличается меньшей длиной	Э. Резерфорд и Е. Андраде

1	2	3
1923	В США в составе Национального исследовательского совета создана комиссия по измерению геологического возраста радиоактивными методами и комиссия по физике Земли	Э. Резерфорд и Е. Андраде
1925	Доказано, что испускание альфа- и бета-частиц сопровождается гамма-излучением	Л. Мейтнер
1924	Выход книги В.И. Вернадского «Очерки геохимии» в Париже на французском языке	Л. Мейтнер
1932	Публикация доклада В.И. Вернадского на заседании Бунзеновского общества в Германии «Радиоактивность и новые проблемы геологии». Публикация на русском языке в сб. «Основные идеи геохимии» в 1935 г. В.И. Вернадский ставит проблему по созданию радиоактивной карты биосферы на основе количественной оценки U, Th, K, Ra в природных объектах	Э. Ферми
1932	Предложен метод использования толстослойных фотоэмульсий для альфа-частиц	Л.В. Мысовский
1932	Первая Всесоюзная конференция по радиоактивности. Доклад В.И. Вернадского «Геохимия и радиоактивность» (в опубликованном виде не известен)	В.И. Вернадский
1933	Совещание по применению радиоактивности в народном хозяйстве	В.Г. Хлопин
1934	Открытие изотопа Н-третия	М. Олифант; П. Гартек; Э. Резен-форд
1934	Первый синтез трансуранового элемента с $Z = 93$ (нептуний). Выступление В.И. Вернадского на общем собрании Российской академии наук с докладом «Задачи дня в области радия»	Э. Ферми
1934	Получение искусственных изотопов	Э. Ферми
1934	Открытие радиоактивности самария (Sm)	М. Кюри и Ф. Джолио
1935	Установлено, что радиоактивность К обусловлена изотопом K^{40}	Г. Хевеши
1937	Запуск первого в Европе циклотрона в Радиовом институте	В.И. Вернадский
1937	Доклад В.И. Вернадского на общем собрании Международного геологического конгресса в Москве «Значение радиогеологии для современной геологии»	Л.В. Мысовский
1938	Открытие процесса деления урана	О. Ган и Ф. Штрассман

1	2	3
1939	Подтверждение предположения о делении урана под действием нейтронов	О. Фриш и Л. Мейтнер
1939	Разработана теория деления ядер	Независимо: Н. Бор; Я.И. Френкель
1939	Открытие третьего природного изотопа урана (U^{235})	А. Нир
1940	Открытие в Радиевом институте спонтанного деления урана	К.А. Петржак и Г.Н. Флеров
1940	Впервые осуществлено разделение изотопов U^{238} и U^{235}	А. Нир
1940	Опубликованы выводы о возможности цепной ядерной реакции и её взрывном бесконечном характере	Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон

Благодаря хлопотам В.И. Вернадского для исследования физических процессов при радиоактивности в Радиевом институте в 1937 г. был запущен первый в Европе циклотрон, на котором были проведены уникальные работы, в дальнейшем позволившие в короткий срок решить проблемы в области атомной промышленности (исследования в области теории радиоактивного распада – Г.А. Гамов и др.; нейтронной физики – И.В. Курчатов, И.И. Гуревич; физики деления ядер – Н.А. Перфилов, К.А. Петржак и др.; дозиметрии – Г.В. Горшков и др.), а также получить первые значимые количества Pu для изучения его свойств (90 лет Радиевому..., 1913). Этот институт взрастил плеяду блестящих исследователей в области методологии анализа радиоактивных элементов (Л.В. Мысовский, Г.В. Горшков и др.), методов опробования и геохимических исследований горных пород (Л.В. Комлев, А.Я. Крылов и др.), почв (В.И. Баранов), нефтесодержащих и морских вод (В.И. Баранов, В.Г. Хлопин и др.), разработки методов определения абсолютного возраста (Э.К. Герлинг, И.Е. Старик и др.). И, конечно, институт сыграл выдающуюся роль в разработке технологий получения радия, а затем и других элементов (радиохимическая школа В.Г. Хлопина).

Следует отметить особую роль Радиевского института в пропаганде научных идей, связанных с открытием явления радиоактивности и достижениями в этой области наших ученых. На базе Радиевского института прошли два представительных мероприятия по проблемам радиоактивности: 1932 г. – первая Всесоюзная конференция по радиоактивности и 1933 г. – совещание по применению радиоактивности в народном хозяйстве. К сожалению, к моменту возобновления конференций по этой проблематике, после периода высокой секретности (г. Новосибирск, 1972) информация по тем двум историческим мероприятиям оказалась забыта. Хотя следует отметить, что профессор Л.В. Комлев, один из активных участников самой первой конференции (1932 г.), участвовал в ее работе и был в составе Оргкомитета.

Первая Всесоюзная конференция по радиоактивности проходила с 23 по 29 ноября 1932 г. с перерывом на день в Ленинграде в Радиевом институте, предположительно в его конференц-зале (ул. Рентгена, д. 1). Анализ сохранившихся архивных материалов, хранящихся в фондах Радиевского института, позволяет воссоздать все основные этапы ее подготовки. В.И. Вернадский сделал вступительный доклад «Геохимия и радиоактивность». В.Г. Хлопин сделал сообщения по развитию исследований радиоактивности в Советском Союзе (опубликовано в 1932 г. в журнале «Природа», № 11–12), радиоактивности нефтяных вод, по современным задачам радиохимии и распределению

радия в водах. На одном из заседаний прозвучали теоретические доклады сотрудников Радиевого института. Как отмечал Л.В. Комлев (1933), интереснейший материал был затронут в докладе Г.А. Гамова, автора теории альфа-распада. Серия докладов была посвящена созданию новой аппаратуры и разработке методик измерения радиоактивности (В.И. Баранов, П.Н. Терский и др.).

Весьма интересен с точки зрения современной радиоэкологии был доклад Б.Н. Бруновского о содержании радия в живом веществе. Интересные данные были сообщены по радиоактивности природных сред Туркмении, Кавказа, Смоленской области и Украины. Но для геологов и геохимиков были и остаются быть особенно интересными доклады А.П. Кирикова. Он выступил с двумя докладами. Один посвящен геологии Ходжентского (Табошарского) месторождения радия, второй – созданию карты распространенности радиоактивных минералов в СССР. Андрей Павлович Кириков также дал сводку результатов поисковых работ, накопленных за многие годы в бывшем Геологическом комитете – ЦНИГРИ-ВСЕГЕИ. Для составления ориентировочной карты распределения радиоактивных минералов на территории Союза им был применен так называемый аспирационный метод, позволивший в сравнительно короткий срок (от 500 до 1000 образцов в сутки) подвергнуть испытанию свыше ста тысяч образцов из экспонатов Геологического музея ЦНИГРИ-ВСЕГЕИ. Повышенная ионизация, указывающая на присутствие радиоактивных минералов, была установлена для 1 % ящиков Геологического музея. Особенно большое распространение радиоактивных минералов было отмечено для районов Забайкалья, Приморья, Минусинского округа. Актуален и для сего дня вывод его доклада: *«Особенно интересен район к северу от Байкала. По-видимому, образцы были запачканы невидимым налетом...»*. Сегодня это один из перспективных ураноносных районов России – Ачитканский.

Не менее интересны материалы совещания о применении радиоактивности в народном хозяйстве. Оно проводилось 10–12 декабря 1933 г. также на базе Радиевого института. Обсуждалось использование радиоактивности в геологии (определение абсолютного возраста пород и минералов), влияние радиоактивности на живое вещество (доклады академика Г.А. Надсена и профессора Миллера, иностранного участника, о генетических изменениях; профессора Гроссмана о лечении рака радиоактивностью; профессора Сухарева о стимуляции радиоактивностью животных и др.), сообщалось и о месторождениях радиоактивного сырья (Слюдянка, Табошары и др.).

На этом этапе интенсивно изучались радиевые воды. В 20-х годах в СССР во многие перспективные в отношении радиоактивных минералов районы были направлены экспедиции и геологические партии для разведки и изучения радиоактивных руд и редких газов. Особенно тщательно исследовались условия выхода гелия и других газов, являющихся продуктами распада радиоактивных элементов. В конце лета 1926 г. один из участников такой экспедиции – А.А. Черепенников, проводивший поиски редких газов на Севере, заметил, что из заброшенной буровой скважины № 1 бывших нефтяных промыслов на р. Ухте вместе с горючими газами изливалась вода, образующая красноватый осадок (Черепенников, 1928). Им было отобрано несколько проб газа и воды. Первые радиологические исследования этих проб проводили представитель Радиологического отдела Института прикладной геофизики А.А. Ломакин и Радиологической лаборатории Главной палаты мер и весов Л.Н. Богоявленский. Анализ первой же пробы воды, сделанный Л.Н. Богоявленским в апреле 1927 г. в Ленинграде, вызвал сенсацию. В ухтинской воде радия оказалось значительно больше, чем в водах знаменитой гейдельбергской скважины, и, примерно, в 5 раз больше, чем в рассолах Иоахимсталь. Как только стали известны эти результаты, на Ухту срочно выехали радиологи, геологи и другие специалисты. В этом районе была организована радиометрическая съемка довольно обширной территории, обследованы на радиоактивность все естественные водные источники – реки, озера, нефтяные пластовые и другие глубинные воды, а также природные

газы. Все стремились как можно скорее определить границы водоносного пласта и выяснить запасы радиеносной воды. Но прежде чем можно было хотя бы ориентировочно подсчитать запасы воды и решить вопрос о добыче радия, необходимо было узнать происхождение высокой радиоактивности пластовых вод, механизм и источник их обогащения радием. По поводу источника обогащения вод радием высказывались самые различные гипотезы. Тщательные исследования этого явления позволили получить ясный ответ только через несколько лет. Сначала Л.Н. Богоявленский и А.А. Ломакин, как и немецкий геолог В. Саламон, решили, что причиной высокой радиоактивности пластовых вод являются неизвестные богатые радиоактивные руды, залегающие ниже нефтеносных горизонтов. Но, согласно установленному геологическому строению района, не было никаких оснований предполагать существование неизвестных радиоактивных руд или других концентрированных скоплений радиоактивных веществ. Ни сами нефтеносные пески, ни подстилающие горизонты и окружающие горные породы не содержали радий выше обычных средних значений. Л.Н. Богоявленский пересмотрел свои взгляды и выдвинул другую версию об обогащении вод радием. Он предположил, что сначала происходит выщелачивание радия сульфатными пластовыми водами из первичных урановых и ториевых руд кристаллического фундамента. На следующем этапе, во время бактериальных процессов, как считал Л.Н. Богоявленский, радий восстанавливается и происходит перевод его солей в раствор и воду. По предположениям Б.А. Никитина и Л.В. Комлева (1930), радий первоначально должен был бы концентрироваться в нефти в процессе ее образования из живых организмов. Эта гипотеза не подтвердилась. Наиболее точное объяснение высокой радиоактивности нефтяных пластовых вод было дано В.И. Барановым, руководившим в то время радиологической лабораторией Московского университета (Баранов, Курбатов, 1933). Результаты его исследований показали, что соотношение урана к торию в пробах ухтинской воды такое же, как у большинства горных пород, не содержащих повышенных концентраций радиоактивных элементов. В связи с этим В.И. Баранов предположил, что радиоактивные элементы попали в глубинные воды из обычных пород в результате сложных и неизвестных тогда геохимических процессов.

В статье «Ухтинское месторождение радия» (1928) Л.Н. Богоявленский сообщил, что со временем содержание радия в воде увеличивается. Уже через год радия в пластовой воде было $7,4 \cdot 10^{-9}$ г/л, а наибольшее значение, по определению Главной палаты мер и весов, составляло $7,6 \cdot 10^{-9}$ г радия на литр воды. Из ухтинской воды была начата промышленная добыча радия. На месте вода обрабатывалась серной кислотой. Полученные водные концентраты доставлялись в Ленинград в Радиевый институт, и там по технологии, разработанной В.Г. Хлопиным, производилось извлечение радия.

После открытия радия в нефтяных пластовых водах Ухты вопрос о происхождении радия в погребенных водах привлек внимание ученых и практиков. Сначала Радиевым институтом, а потом Институтом геохимии и аналитической химии АН СССР стали проводить количественные измерения содержания радия, урана, тория и других радиоактивных элементов не только в нефтяных пластовых водах, но в других природных водах.

Сообщение о совершенно исключительном количестве радия в пластовых водах Новогрозненского района, обнаруженном работниками нефтепромысловой лаборатории В.С. Тверцыным и В.Б. Милиным, появилось в конце 1929 г. в журнале «Нефтяное хозяйство». Сразу же в Грозный направились представители Радиевого института – Б.А. Никитин и Л.В. Комлев. На средства Союзнефти в течение последующих трех-четырёх лет пластовые воды нефтепромыслов Грозного и Баку были обследованы на радиоактивность. Были открыты радиеносные воды в Баку, на Челекене и в

Средней Азии. Результаты исследований радиоактивности нефтяных пластовых вод во многих районах СССР, проведенных Радиевым институтом, были опубликованы в трудах института, докладах Академии наук СССР и Французской академии наук.

Открытие радия в нефтяных пластовых водах, по мнению В.И. Вернадского, заставило в сильной степени углублять и менять представление об его истории. Радий в пластовых водах сконцентрирован в новой интересной и важной форме, требующей немедленного и длительного разрешения (Вернадский, Хлопин, 1932). Изучение радиоактивности нефтяных пластовых вод показало весьма разнообразную форму концентрации радия, на которую большое влияние оказывает химический состав самих вод и окружающих горных пород. Происходящие химические процессы оказались гораздо сложнее, чем это представлял Л.Н. Богдавленский. Работами, главным образом, Государственного радиевого института, разных учреждений бывшего Геологического комитета и Академии наук СССР, установлено нахождение богатых радием и иногда мезоторием подземных вод на глубинах в сотни метров от земной поверхности в ряде нефтеносных районов: на Ухте, Чусовских городках, Эмбе, Грозненском районе, Дагестане, Апшеронском полуострове (Баку), Челекене, Нефтедаге и Фергане. На всем огромном протяжении от бассейна Печоры до Предкавказья, Закавказья, берегов Каспийского моря и Ферганы во всех изученных нефтеносных бассейнах Союза встречается одно и то же новое явление – обогащение радием глубоких солевых и рассольных, холодных (Ухта) и горячих (Грозный) подземных вод нефтеносных районов.

В.И. Вернадский (1932), оценивая работы русских ученых в этой области, говорит о том, что в последние годы вскрылись явления огромного, еще не вполне осознанного значения в истории радия. Получается совершенно новая картина его распределения в земной коре, открывается его неожиданная концентрация в пластовых водах и, может быть, в водах подземных водоемов. В то же время он подчеркивает, что обнаруживается огромный новый источник добычи радия. Новое явление, по его мнению, заключается в том, что в стратиферу вскрывается неожиданная, богатая радием область вод, отсутствующих в биосфере (все наземные воды), и в более глубоких слоях земной коры (воды вулканов и минеральные источники).

В результате изучения радиоактивности и химического состава нефтяных пластовых вод, проведенного в нашей стране в 1929–1932 гг., было установлено, что радиоактивные нефтяные пластовые воды – явление, весьма распространенное на нашей планете, а не уникальное, как думали раньше. Кроме того, процесс обогащения радием нефтяных пластовых вод начали рассматривать самостоятельно, не связывая его с формированием нефти. В дальнейшем изучением этого явления занимался В.А. Сулин (1935). Сущность формирования глубинных нефтяных пластовых вод, по В.А. Сулину, соответствует процессам опреснения, преобладающим в формировании вод суши, и концентрации солей в водах морей и океанов. В 40-х годах в Радиевом институте исследования радиоактивности пластовых вод проводились под руководством И.Е. Старика, который также занимался изучением механизма обогащения пластовых вод радием.

В 30-х годах в Радиевом институте под руководством В.И. Вернадского начали изучать содержание урана в природных водах суши с целью нахождения урановых месторождений (Радиевый институт..., 1972).

В.И. Вернадский (1930) впервые отмечает, что установление существования вод, несущих радий, заставляет обратить внимание на другое грандиозное и важное явление в истории природных вод и радиоактивных элементов, получающее в то время новое освещение. Это явление – радиоактивность морской воды.

Первые советские исследования на радиоактивность морских осадков в 1944 г. были выполнены К.Г. Кунашевой. В образцах донных отложений, поднятых со дна Баренцева моря, она определила несколько повышенное содержание радия и тория (Кунашева, 1944).

С момента открытия деления ядер изотопа U^{235} человечество находится на грани открытия уникального источника энергии – энергии деления ядра атома, когда при распаде 1 ядра U^{235} выделяется 212 МэВ энергии, а реакция является цепной и самоподдерживающейся.

К сожалению, человеческий разум смог увидеть использование этой энергии только в военных целях. Все технически развитые страны (Германия, Англия, США и Россия) занялись разработкой ядерных программ, предусматриваемых создание ядерного оружия. Исследования этого времени почти все становятся закрытыми.

В российском варианте освещения этого этапа отсутствует объективная оценка роли В.И. Вернадского и его коллег-геохимиков. Считается, что у истоков ядерной программы СССР был И.В. Курчатов. Но это совсем не так. Опубликованные дневники В.И. Вернадского² позволяют воссоздать тот исторический период времени.

«26.05.40 г. ... Уже в Узком получил из Вашингтона вырезку из New York Times от 5 мая ... о новой атомной энергии урана-235. ... Никогда не думал, что доживу до реальной постановки (вопроса) об использовании внутриатомной энергии.»

16.06.40 г. ... В Президиуме вчера прошёл вопрос об уране. Я сделал доклад ..., но результат достигнут. Огромное большинство не понимает исторического значения момента. Надо направить записку в правительство.

22.07.40 г. Образована комиссия по урану при Академии наук.

30.07.40 г. Окончательно образована Комиссия ...: меня (зам. председателя), Хлопина (председателя), Иоффе (зам. председателя). Члены: Ферсман, Вавилов, Лазарев, Фрумкин, Мандельштам, Капица, Кржижановский, Курчатов, Щербаков, Харитон, Виноградов.

1.06.41 г. ... Но у нас идут споры – физик направляет внимание на теорию ядра, а не на ту прямую задачу, которая стоит перед физико-химиками и геохимиками – выделение изотопа 235 из урана.»

Об этом сравнительно кратковременном этапе развития учения о радиоактивности можно прочитать в книге В. Юнга «Ярче тысячи солнц» (Юнг, 1961).

Начиная с этого времени все исследования по геохимии радиоактивных элементов были направлены на выявление особенностей миграции и концентрирования радиоактивных элементов и, прежде всего, урана как главного компонента ядерной бомбы.

Особенно преуспели в этом советские ученые под руководством А.П. Виноградова, Д.И. Щербакова, А.Г. Бетехтина, А.А. Саукова, В.В. Щербины и др.

В 50-е годы Л.В. Комлев в Радиевом институте разрабатывает радиогеохимическую типизацию гранитоидов, в основу которой положены материалы многочисленных исследований в различных регионах и, прежде всего, на Украине. В ней выделяются ураноносные гранитоиды.

На Украине, в связи с выявлением урановых месторождений в глубоко метаморфизированных породах докембрия, ведут активно радиогеохимические исследования Я.Н. Белевцев, А.И. Тугаринов.

Геохимией радиоактивных элементов в щелочных породах занимается В.И. Герасимовский. В осадочных породах радиоактивные элементы изучает М.Н. Альтгаузен.

² В.И. Вернадский. Дневники. 1938–1942. М.: Наука, 1999.

В этот период времени появляются обобщения по геохимическому и геологическому значению радиоактивности (Г.В. Войткевич, 1948, 1953, 1954).

В 1947–1955 гг. начались широкомасштабные обследования рек европейской части СССР – Северной Двины, Печоры, Невы, Волги, Оки, Камы, Дуная и др. – под руководством И.Е. Старика и Д.С. Николаева с сотрудниками О.С. Меликовой, Ф.Е. Старик, Л.Я. Антрашенок и др. (Старик и др., 1958). Затем на содержание урана были исследованы сибирские реки – Обь, Иртыш, Ангара, Селенга, Лена, а также среднеазиатские – Амударья, Сырдарья и др. Кроме речных вод изучались также воды озёр: Ладожского, Байкала, Севана и др. В результате многолетних исследований были собраны сведения о содержании урана в природных водах страны, установлены вариации в содержании урана и изотопов уранового ряда в водах. В частности установлены большие вариации содержания урана в водах и его накопления в ряде бессточных водоемов крупных аридных областей. Эти исследования дали материал для установления основных закономерностей миграции урана в водной среде и ее зависимости от характера процессов выветривания горных пород и климатической зональности.

Подводя итоги почти 50-летних исследований радиоактивности природных вод русскими и советскими учеными (1904 г. – начало 1950-х гг.), Т.Д. Ильина (1988) говорит о формировании новой научно-технической дисциплины – радиогидрогеологии. С помощью методов, применяемых в этом научном направлении, стало возможным получить представление о связи подземных и поверхностных вод, условиях питания и скорости движения подземных потоков, взаимодействии подземных вод с породами и т. д.

Следует отметить, что наряду с лепестковыми электроскопами для измерения радиоактивности начинают внедрять и счётчик Гейгера–Мюллера и микрорадиографические методы с использованием толстослойных фотопластинок. Широко используются методы радиохимии для выделения и концентрирования радиоэлементов.

Происходит реанимация сцинтилляционных счётчиков (в начале XX столетия использовали спинтарископы – экраны из сульфида цинка, на поверхности которых появлялись вспышки (сцинтилляции) при попадании α -частиц). Именно аппаратура с использованием сцинтилляционных счётчиков с применением разнообразных фотоумножителей привела к бурному развитию разнообразных методов измерения, как общей радиоактивности, так и отдельных её составляющих (содержание U, Th, K и др.), в том числе в варианте аэрометодов.

В СССР и других странах идёт стремительный рост информации по геохимии урана и тория в минералах и горных породах. Об этом можно судить по материалам Женевских конференций по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955, 1958), материалы которой переведены на русский язык. В работах учёных США Е.С. Ларсена, Ж. Фейра, Дж. А.С. Адамса, Кеннета Ж. Белла, Ганса Петерсона, Льюиса Х. Аренса, Г.И. Нейрберга, а также учёных из бывшего СССР И.И. Абрамовича, Е.Г. Высокоостровской, Р.Д. Гаврилина, В.И. Герасимовского, Л.В. Дмитриева, Е.М. Еськовой, А.Я. Крылова, Л.Л. Леоновой, Д.А. и И.Г. Минеевых, А.И. Полянова, А.И. Семёнова, А.А. Смылова, Л.В. Таусона, С.Д. Туравского, В.В. Чердынцева и других содержатся данные об особенностях накопления урана и тория в магматических образованиях. Аналогичные данные по метаморфическим и осадочным образованиям содержатся в работах Я.Н. Белевцева, Н.П. Ермолаева, Н.Н. Плумана, В.М. Гавшина, Ф.П. Кренделева, Г.М. Шора, М.Н. Альтгаузена и др.

Обо всём спектре этих исследований можно судить по публикациям в специально созданном журнале «Геохимия», систематический выпуск которого начался в 1956 году.

Обстоятельные обобщения по этим вопросам были сделаны в книгах «Ядерная геология»³, «Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд»⁴.

Венцом, подводящим итог радиогеохимических исследований в бывшем СССР, стала коллективная монография «Основные черты геохимии урана»⁵ и издание 3-томной монографии «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов»⁶, в которой можно увидеть много информации по урану и торью, геохимическая судьба которых тесным образом связана с редкими элементами.

К концу 60-х годов XX столетия режим секретности в бывшем СССР в отношении геохимии U и Th несколько ослаб, что позволило провести в 1972 году в г. Новосибирске под непосредственным началом Ф.Н. Шахова Первую всесоюзную конференцию по радиоактивным элементам, а в 1975 г. аналогичную конференцию в г. Душанбе.

В материалах этих конференций представлены уникальные сведения по геохимии урана и тория в горных породах и геологических процессах. Произошёл своеобразный информационный прорыв в некогда закрытой для широкого обсуждения области знаний.

В работах А.И. Тугаринова, Л.В. Комлева, В.И. Герасимовского, А.А. Смыслова, А.И. Перельмана, М.Н. Альтгаузена, Н.Н. Амшинского, С.Д. Туровского, Г.М. Шора, Р.П. Готтих, В.И. Данчева, С.Г. Батулина, А.И. Лаубенбаха, Ф.А. Алексеева, В.М. Гавшина, А.С. Митропольского, В.П. Ковалёва, А.Д. Ножкина, С.Д. Расуловой, С.Ф. Винокурова, Р.С. Журавлёва, Д.К. Осипова, Ю.В. Ильинских, В.П. Ковалёва, С.М. Кравченко, И.Г. Берзиной, А.И. Полякова, Г.Б. Наумова, С.В. Мельгунова, В.К. Титова, Б.К. Львова, Ю.М. Пузанкова, В.А. Злобина, А.Г. Миронова, Н.П. Ермолаева, Е.В. Плющева, О.П. Соборнова и многих других были показаны не только уровни накопления радиоактивных элементов в горных породах и минералах, но и их индикаторная роль в процессах пороодо- и рудообразования. Анализ этих материалов всё ещё ждёт своего исследователя.

В конце 70-х годов в практику радиогеохимических исследований интенсивно внедряются полевые гамма-спектрометрические исследования, которые позволяют с высокой точностью и достоверностью определять содержание урана, тория и калия в геологических образованиях, а в лабораториях появились новые методы их определения: рентгеноспектральный, лазерно-люминесцентный, нейтронно-активационный, метод запаздывающих нейтронов, осколочная (*f*) радиография, что позволило получать информацию об уровнях накопления радиоактивных элементов и формах их нахождения в любых природных образованиях, в том числе живом веществе и т. д.

Всё это позволило перейти к осуществлению мечты В.И. Вернадского о создании карты радиоактивности России. Она была создана коллективом авторов ВСЕГЕИ под редакцией А.А. Смыслова и Л.И. Тихомирова (Санкт-Петербург, 1996). Сегодня мы можем, используя данную карту, увидеть многие закономерности в распределении (рассеянии и концентрировании) радиоактивных элементов в земной коре.

Обобщение материалов по геохимии радиоэлементов в природных объектах за последнее десятилетие можно найти в материалах Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, [1996](#), [2004](#), [2009](#), [2013](#), [2016](#)).

³ Ядерная геология. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956.

⁴ Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. М.: ГНТИ литературы по геологии и охране недр, 1957.

⁵ Основные черты геохимии урана / под редакцией А.П. Виноградова. М., 1963.

⁶ Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука, 1964.