

**К 150-ЛЕТИЮ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ  
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**  
**ON THE 150TH ANNIVERSARY OF THE D.I. MENDELEEV  
PERIODIC TABLE OF CHEMICAL ELEMENTS**

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-9-16>



УДК 621.039.004

## Периодическая таблица химических элементов и советский атомный проект

**Р.Е. Кузин**

*Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии, Москва 115409, Россия*

*@Автор для переписки, e-mail: rkuzin256@mail*

*Советский атомный проект или, по-другому, ядерный щит, является подлинным триумфом Периодического закона. В отличие от других глобальных мировых проектов, он единственный охватывает всю Периодическую таблицу химических элементов: от первого элемента таблицы (водорода) до последнего на момент завершения проекта (плутония). В статье на основе редких открытых публикаций рассмотрены основные этапы и химико-технологические проблемы создания атомного и термоядерного оружия – главной цели ядерного щита. При этом получены новые фундаментальные результаты по химии и технологии изотопов водорода, лития, бериллия, полония, урана и плутония, существенно расширившие Периодическую таблицу химических элементов.*

**Ключевые слова:** советский атомный проект, Периодическая таблица химических элементов.

*Для цитирования:* Кузин Р.Е. Периодическая таблица химических элементов и советский атомный проект. *Тонкие химические технологии.* 2019;14(6):9-16. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-9-16>

## Periodic Table of chemical elements and Soviet atomic project

**Rudolf E. Kusun**

*All-Russian Research Institute of Chemical Technology, Moscow 115409, Russia*

*@Corresponding author, e-mail: rkuzin256@mail*

*The Soviet atomic project, also known as the nuclear shield, is a true triumph of the Periodic Law. Unlike other global projects, it covers the entire Periodic Table of chemical elements: from the first element of the table (hydrogen) to the last one at the time of the project's completion (plutonium). The article, based on rare open publications, describes the main stages and chemical-technological issues surrounding the creation of atomic and thermonuclear weapons – the main goal of the nuclear shield. New fundamental results of the chemistry and technology of isotopes of hydrogen, lithium, beryllium, polonium, uranium, and plutonium have been obtained that could significantly expand the Periodic Table of chemical elements.*

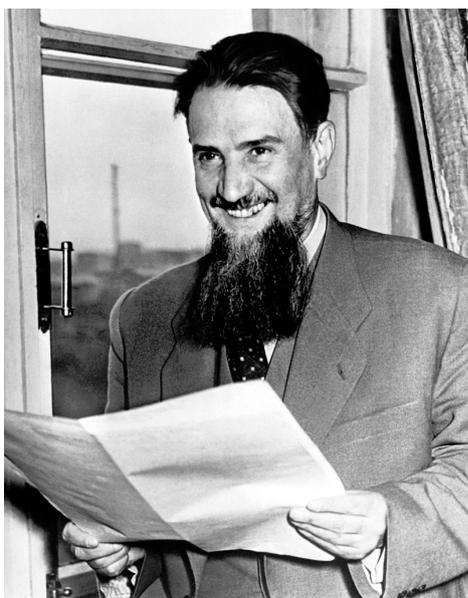
**Keywords:** Soviet atomic project, Periodic Table of chemical elements.

*For citation:* Kuzin R.E. Periodic Table of chemical elements and Soviet atomic project. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2019;14(6):9-16 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2019-14-6-9-16>

## Введение

Официальной датой начала советского атомного проекта (САП) считается 28 сентября 1942 года<sup>1</sup>, когда Председателем Совета Обороны И.В. Сталиным был подписан документ «О возобновлении наших работ по исследованию возможности получения взрывчатых веществ или энергии при расщеплении ядер урана». Основанием для такого документа послужили достоверные данные разведки о том, что фашистская Германия и наши союзники во Второй мировой войне США и Англия в глубокой тайне разрабатывают новое оружие невиданной силы – атомное оружие.

Следует отметить, что светила советской науки, академики В.И. Вернадский, А.Ф. Иоффе, П.Л. Капица, С.И. Вавилов на совещании у И.В. Сталина высказали сомнение в создании бомбы. Наша страна истекала кровью в тяжелейшей борьбе с фашизмом и не могла позволить себе направить значительные средства на новый атомный проект. Поэтому стартовые ресурсы, выделенные на создание специальной лаборатории № 2, руководителем которой по рекомендации А.Ф. Иоффе стал Игорь Васильевич Курчатов, оказались незначительны. В то же время назначение И.В. Курчатова было безошибочным, так как Игорь Васильевич был известен как прекрасно образованный физико-химик, он обладал необыкновенной инженерной интуицией, до войны руководил урановой группой в Физико-техническом институте А.Ф. Иоффе, лично был знаком с очень узким кругом специалистов по радиохимии, химической физике и физике атомного ядра.



Игорь Васильевич Курчатов

<sup>1</sup> В настоящее время 28 сентября отмечается День работника атомной промышленности (День атомщика), который учрежден указом Президента РФ В.В. Путина от 03 июня 2005 г. № 633.

После взрывов атомных бомб над японскими городами Хиросимой и Нагасаки в августе 1945 года (6-го и 9-го, соответственно) стало очевидно, что США овладели монополией на атомное оружие. Наше Правительство отреагировало моментально: уже через две недели, 20 августа, при Совете Министров СССР создается Первое Главное Управление для промышленной реализации САП, руководителем которого назначен министр боеприпасов Б.Л. Ванников, а научным руководителем – И.В. Курчатов. Руководителем САП от Политбюро становится министр внутренних дел Лаврентий Павлович Берия. С этого момента работы по созданию советского ядерного щита развиваются с огромной скоростью, с привлечением всех достижимых ресурсов. И через 4 года, 29 августа 1949 года, была взорвана первая советская атомная бомба, а 12 августа 1953 года – советская термоядерная бомба. Так удалось ликвидировать монополизм США в обладании ядерным оружием.

Создание ядерного оружия потребовало огромных усилий от химиков и технологов: были получены новые знания по изотопам многих элементов и разработаны технологии их производства; появились новые направления химической науки: радиохимия, радиационная химия, ядерная химия, контроль радионуклидов; разработаны новые тонкие химические технологии радиоактивных элементов.

Многие тысячи химиков и технологов трудились над задачами создания атомной и термоядерной взрывчатки. И все это проходило в обстановке строжайшей секретности: зачастую даже коллеги из одной лаборатории не знали о работе соседей. В результате ни одного секрета не просочилось с предприятий, занятых в САП, и по многим направлениям химической технологии СССР удалось существенно обогнать своих соперников.

И только через 50 лет после старта САП руководство страны и Минатом приняли решение о частичном рассекречивании наших достижений в научных и технологических вопросах создания ядерного щита [1–3].

За полувековой отрезок времени из жизни ушли многие активные участники САП, и сведения об их работе и достижениях приходится разыскивать в воспоминаниях бывших, тогда молодых сотрудников различных учреждений, в отдельных брошюрах, выпущенных малым тиражом (300–500 экз.). Типичным примером утраты подробной информации о работах в САП является ситуация с легендой МИТХТ имени М.В. Ломоносова, член-корреспондентом АН СССР, д.т.н., профессором Кириллом Андреевичем Большаковым (1906–1992). В МИТХТ он проработал без малого 50 лет, пройдя путь от ассистента до ректора (1958–1971 гг.). Он – дважды лауреат Государственных (Сталинских) премий,

награжден двумя орденами Ленина, пятью орденами Трудового Красного Знамени.

К.А. Большаков – один из основателей отечественной промышленности редких элементов. В брошюре «Первая леди советской атомной науки. Сборник статей к 100-летию со дня рождения З.В. Ершовой» [4] указано, что с 1930 по 1947 гг. К.А. Большаков по совместительству работал начальником лаборатории в Государственном институте редких металлов (Гиредмет), а с 1947 по 1958 гг. – заведующим лабораторией в легендарной «девятке» – НИИ-9 (ныне ВНИИ Неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара). В Гиредмете совместно с Зинаидой Васильевной Ершовой занимался получением



Кирилл Андреевич Большаков

металлического урана, а затем руководил проблемой получения трития (тяжелый изотоп водорода  $^3\text{H}$ ) для первой советской водородной бомбы. И потом никогда! и нигде! Кирилл Андреевич не упоминал о своем участии в этих работах – он дал подписку о хранении секретов на 60 лет. Как вспоминала его любимая ученица и сотрудница Людмила Дмитриевна Юрченко (легендарный декан факультета «Т» МИТХТ, которую знали на всех предприятиях и в институтах урановой отрасли), на прямой вопрос: «Кирилл Андреевич! А Вы участвовали в создании атомной бомбы?» – Большаков ответил: «Ну что Вы, Люсенька! Все участвовали. А еще у нас две группы отняли по технологии радиоактивных элементов. И отдали в Менделеевку...». Мастерски ушел от ответа. Только на одном этом примере видно, как много бесценной информации о советских выдающихся разработках по созданию ядерного щита не дошло до 150-летия Периодической таблицы химических элементов.

Я, автор статьи, уже 56 лет работаю в урановой промышленности. И последние 20 лет с увлечением разыскиваю материалы, воспоминания и статьи

о наших замечательных научных и промышленных разработках, касающихся сырьевых проблем САП. Ниже рассмотрены некоторые из них, расширившие наши знания по химии и технологии редких элементов.

### Атомная бомба (уран, графит, плутоний, полоний)

Атомная бомба (на первом этапе плутониевая, а затем урановая) создавалась и немцами, и американцами, и советскими учеными на базе использования энергии деления ядер тяжелых элементов. Главным претендентом, еще до начала войны, на роль делящегося материала был изотоп урана  $^{235}\text{U}$ . Однако в природном уране изотопа  $^{235}\text{U}$  содержится всего 0.7%, остальные 99.3% составляет изотоп  $^{238}\text{U}$ , который не подходил для использования в качестве взрывчатки атомного заряда. Отсутствие на начальном этапе САП достаточного количества природного урана, невозможность быстро создать технологию и аппаратуру для обогащения природного урана по изотопу  $^{235}\text{U}$  и данные разведки об усилиях немцев и американцев разработать технологию получения элемента с номером 94 – плутония-239 привели И.В. Курчатова к решению о создании в первую очередь плутониевой бомбы, хотя для получения плутония также требовался уран.

В 1945 году в нашей стране имелось всего 13.1 тонн урановой руды в виде отвалов производства радия-226 в местечке Табошар Таджикской ССР, причем уран никто не искал и не добывал. Еще только предстояло найти месторождения, построить рудники и заводы для переработки руд. Первый уран для опытного и затем промышленного реактора с целью наработки  $^{239}\text{Pu}$  был доставлен в качестве трофея из Германии, располагавшей захваченными в Чехии и Бельгии (из бельгийского Конго) концентратами урановых солей. И только позднее, благодаря усилиям советских геологов, горняков, строителей, химиков-технологов была создана урановая промышленность, на 14 комбинатах которой производилось к семидесятым годам XX века до 25 тыс. тонн природного урана ядерной чистоты [5–11]. Такие грандиозные успехи справедливо связывают с именем легендарного министра среднего машиностроения Ефима Павловича Славского [12], трижды Героя Социалистического Труда, награжденного десятью орденами Ленина.

В САП Ефим Павлович пришел с должности заместителя министра цветной металлургии, награжденный тремя орденами Ленина за обеспечение нашей воюющей страны сверхдефицитным алюминием и сплавами на его основе. В сентябре 1945 г. Л.П. Берия познакомил Славского с И.В. Курчатовым, который попросил изготовить партию сверхчистого графита, используемого в качестве замед-

лителя тепловых нейтронов для опытного реактора наработки плутония из природного урана<sup>2</sup>.

В то же время было известно из разведанных, что у американцев плутониевый реактор заполнен графитом, но не известна технология его очистки. Ефим Павлович со своими сотрудниками достаточно быстро справился с проблемой получения графита требуемого качества. И.В. Курчатов увидел в нем не только прекрасно образованного химика – технолога и металлурга, но и гениального организатора. По просьбе Курчатова Е.П. Славский приказом Сталина был переведен в атомный проект.



Ефим Павлович Славский

Первое время добыча и очистка урана от примесей проводилась на комбинате № 6 (вблизи города Ленинабад Таджикской ССР) по технологии, разработанной еще Марией Кюри в начале XX века [6]. И качество, и извлечение урана из руды были неудовлетворительными. Большие ресурсы тратились на многочисленные операции очистки урана. Ввиду остроты проблемы получения природного урана из рудных материалов, где его массовая доля составляет всего 0.05–0.14%, по инициативе Славского приказом И.В. Сталина от 19.04.1951 создается специальный научно-исследовательский институт химиче-

<sup>2</sup> В настоящее время стало известно, что Германия значительно обгоняла США в решении задач своего атомного проекта, но так и не смогла создать бомбу из-за казуса, носящего название «ошибка Поте – Гейзенберга». Гейзенберг, любимец Гитлера, руководивший атомным проектом, выбирал замедлитель нейтронов из двух вариантов: углерод в форме графита или «тяжелая» вода. По его поручению физико-химик Поте проверил возможности применения графита, но недооценил важность очистки его от бора. Гейзенберг, в свою очередь, допустил ошибку в измерениях торможения нейтронов. В итоге использование графита отклонили, а «тяжелой» воды немцы так и не дождались: все конвой утопили англичане.

ской технологии НИИ-10, так называемая «десятка» (ныне ВНИИХТ). В него были направлены за годы САП выпускники ведущих вузов: МИТХТ им. М.В. Ломоносова (более пятисот человек), МХТИ им. Д.И. Менделеева (почти семьсот человек), Ленинградского технологического института им. Ленсовета, Химфака МГУ им. М.В. Ломоносова и др. Большой молодой коллектив ВНИИХТ создал сотни новых технологий получения природного урана ядерной чистоты и многих других металлов. В основном это – ионообменные сорбционные и экстракционные технологии, внедрение которых потребовало новых решений в органической химии для синтеза ионообменных реагентов. Благодаря этим работам ВНИИХТ получил мировую известность как «урановый институт» и как «сорбционный институт». Научный руководитель этих исследований, Борис Николаевич Ласкорин, был удостоен высокого научного звания – действительного члена АН СССР.



Борис Николаевич Ласкорин

Как отмечалось выше, для наработки плутония, помимо графита ядерной чистоты, требовался металлический уран. Технологию его получения магний-термическим методом уже в 1945 году разработала Зинаида Васильевна Ершова [4], работавшая начальником лаборатории Гиредмета<sup>3</sup>. Экспериментальные данные Ершова получила во время стажировки в Париже, в лаборатории Ирен Кюри, поэтому, с легкой руки И.В. Курчатова, коллеги уважительно называли Зинаиду Васильевну – «русская мадам Кюри».

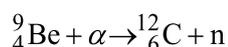
Среди важных научных достижений Ершовой на старте атомного проекта отметим также создание технологии выделения полония-210 из облученного

<sup>3</sup> З.В. Ершова в декабре 1943 года защитила в МИТХТ под руководством К.А. Большакова диссертацию с грифом «Совершенно секретно» на тему определения отношения  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  в природном уране.



Зинаида Васильевна Ершова

висмута-209.  $^{210}\text{Po}$ , мощный источник альфа-частиц, помещенный в бериллиевую втулку, использовался как источник нейтронов в «зажигалке» первых атомных бомб. Генерация нейтронов в полоний-бериллиевом источнике описывается уравнением:



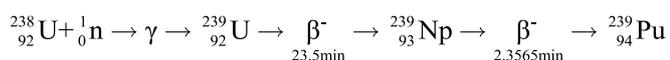
Образование полония-210 в облученном висмуте-209 описывается уравнением:



В образцах облученного висмута образуется очень немного полония, и его выделение осуществляется на основе тонких химических технологий. Кстати, полониевые источники тепла были использованы на советских Луноходах 1 и 2 в 1975 году, уже после завершения САП.

Постоянным наставником и добрым гением З.В. Ершовой был академик Виталий Григорьевич Хлопин, директор Радиевого института в Ленинграде и главный радиохимик САП.

Образование плутония-239 при облучении нейтронами урана-238 в ядерном реакторе описывается уравнением:



Методы получения плутония из облученного урана-238 разрабатывались с 1946 года в первой радиохимической лаборатории НИИ-9, начальником которой являлась также З.В. Ершова. Сложность проблемы наработки плутония заключается в том, что в облученном металлическом уране за кампанию



Виталий Григорьевич Хлопин

в 2–3 недели при массе загруженного урана 100 тонн образуется всего 600–700 г плутония-239. Это ничтожно мало!!

В лаборатории Ершовой была создана полупромышленная установка У-5, которая сыграла большую роль в разработке технологии получения препаратов плутония на комбинате «Маяк». С начала 1947 г. на У-5 начали поступать урановые блочки, облученные в первом экспериментальном реакторе Ф-1 Института атомной энергии. Поздней ночью 18 декабря 1947 г. З.В. Ершова вместе молодыми радиохимиками «девятки» впервые получила весовые количества препарата плутония (73 мкг). Эта работа стала первой, приведшей к созданию ядерного заряда из плутония. История создания первого промышленного реактора и радиохимического завода для выделения и очистки плутония-239 на комбинате «Маяк», или «Челябинск-40», подробно описана в книге Аркадия Константиновича Круглова [2], который принимал непосредственное участие в строительстве и пуске предприятия.

В целом для наработки плутония-239 в ходе САП был построен ряд промышленных уран-графитовых реакторов и радиохимических заводов для излучения плутония, урана и продуктов деления из облученного урана.

При использовании ПУРЭКС-технологии (научный руководитель – академик В.Г. Хлопин) можно выделить плутоний, уран и отправить на длительное технологическое хранение азотнокислый раствор с огромным количеством высокоактивных радионуклидов – продуктов деления урана-235. Эти высокоактивные жидкие радиоактивные отходы (ВЖРО) содержат долгоживущие цезий-137 и стронций-90, которые сохраняют высокую активность еще тысячи лет. Накопление больших объемов ВЖРО, обращение с которыми является до сих пор нерешенной

проблемой, составляет главный недостаток плутониевого направления САП.

Короткий интервал облучения металлических блочков урана, как сказано выше, вызван опасением большого накопления плутония-241, который через короткое время бета-распада превращается в америций-241 – очень высокоактивный гамма-излучатель. Накопление америция-241 в плутониевых зарядах является демаскирующим фактором, затрудняет обращение с зарядами и требует постоянных ресурсов на рефабрикацию изделий. И это – второй существенный недостаток плутониевых бомб.

Таким образом, в ходе реализации САП наряду с интенсивным постоянным производством плутониевых зарядов решалась актуальная и очень сложная задача разработки технологии и аппаратуры для изотопного обогащения природного урана с целью увеличить содержание изотопа  $^{235}\text{U}$  от 0.72 до 90%. Первый этап в решении этой задачи – перевод природного урана из твердой фазы в газообразную. Он реализуется на сублиматных заводах путем фторирования до получения гексафторида урана  $\text{UF}_6$ . При температуре выше 64.1 °C это соединение превращается в газ [14]. Как и в США, из четырех известных методов разделения изотопов предпочтение было отдано газодиффузионному<sup>4</sup> [14, 15]. Основная идея метода состоит в том, что на пути потока газа  $\text{UF}_6$  устанавливается пористая перегородка с бесчисленным множеством отверстий диаметром менее 0.01 мкм. Гексафторид урана-235 несколько легче гексафторида урана-238, следовательно, газ по другую сторону перегородки будет обогащаться легким изотопом. Основные трудности газодиффузионного метода связаны с разработкой пористых перегородок и насосов-компрессоров для движения газа. Требовались акры перегородок и тысячи насосов. Разработки пористых перегородок и диффузионных машин велись многими организациями с максимальным напряжением всех ресурсов страны. Спешка в подготовке к созданию технологии получения обогащенного  $^{235}\text{U}$  объяснялась главным образом тем, что в 1946 году США продолжали совершенствовать ядерное оружие. В этом же году на атолле Бикини в Тихом океане были демонстративно взорваны две атомные бомбы.

К 1950 году завод по обогащению урана, построенный на Среднем Урале и смог выдавать по несколько десятков килограммов урана  $^{235}\text{U}$  90%-го обогащения. На заводе работало около 15 тыс. диффузионных машин, и потребляемая электрическая мощность составляла 250 МВт. С 1949 по 1964 г.г. были построены и приняты в эксплуатацию еще 3 диффузионных завода в Сибири. Использование обогащенного урана сняло экологические проблемы применения плутония для

зарядов и открыло возможности применения атомной энергии для электрической генерации (при обогащении 3–5%), а также для судовых установок подводных лодок (при обогащении 40%) и ледокольного атомного флота (при обогащении 20%).

Одновременно с газодиффузионным методом велась разработка центрифужной технологии обогащенного урана. Принцип работы газовой центрифуги по разделению изотопов урана заключается в том, что в цилиндрическом роторе центрифуги, заполненном  $\text{UF}_6$ , при окружных скоростях более 400 м/с в условиях вакуума более тяжелые молекулы концентрируются у стенки ротора и опускаются вниз. В машине особая роль отводится магнитной подвеске, обеспечивающей при высоких скоростях вращения ротора снятие нагрузки с опорной иглы. Быстровращающийся ротор центрифуги способен эффективно разделять молекулы газа на легкие и тяжелые. Основное преимущество центрифужного метода по сравнению с диффузионным состоит в малой энергоемкости (снижение на порядок) и существенно большем термодинамическом КПД.

Переход наших заводов на центрифужную технологию, осуществленный в течение 1966–72 гг., позволил увеличить разделительную мощность предприятий в 2.4 раза и сократить общее потребление электроэнергии в 8.2 раза. При этом нашей стране удалось в течение 30 лет скрывать наличие освоенного, наиболее прогрессивного и экономичного промышленного метода. Сейчас на Уральском электрохимическом комбинате [16] работает полтора миллиона центрифуг, ресурс которых достигает 35 лет бесперебойной службы, а скорость вращения ротора составляет 1.5 тыс. оборотов в секунду. Наша страна поддерживает 40% мирового производства по обогащению урана [22].

### Термоядерная (водородная) бомба (тритий, дейтерий, литий)

Термоядерная бомба использует энергию синтеза гелия  $\text{He}$  на основе реакции соединения изотопов водорода дейтерия  $^2\text{H}$  (D) и трития  $^3\text{H}$  (T). Дейтерий-тритиевая реакция



сопровождается выделением огромной энергии и образованием быстрого нейтрона. Однако для ее осуществления необходимы сверхвысокая температура  $T = 10^7\text{--}10^8$  К и огромное сжатие (имплозия). Кроме того, нужны реагенты: тяжелые изотопы водорода – дейтерий и тритий. Гениальную «взрывчатку» предложил еще в 1949 году Виталий Лазаревич Гинзбург – ДЕЙТЕРИД ЛИТИЯ-6 ( $^6\text{LiD}$ ). Это – твердое вещество, которое можно укладывать слоями в корпусе водородной бомбы. При подрыве триггера (маленькой атомной бомбы в этом же корпусе) возникнет

<sup>4</sup> Научным руководителем проекта и строительства газодиффузионного завода в 1946 году назначили академика Исаака Константиновича Кикоина.

сверхвысокая температура и имплозия взрывчатки. Поток нейтронов вызовет реакцию образования трития



и далее тритий вступит в реакцию с дейтерием, согласно (1).

В природе встречаются два стабильных изотопа лития:  ${}^6\text{Li}$  (7.5%) и  ${}^7\text{Li}$  (92.5%). В период САП для получения чистого  ${}^6\text{Li}$  использовали «ртутную» технологию. Для получения дейтерия в Институте физических проблем АН СССР (ИФП) под руководством Анатолия Петровича Александрова была разработана эффективная и экономичная технология низкотемпературной ректификации жидкого водорода [17]. Автор технологии и создатель криогенного водорода Петр Леонидович Капица в то время был отстранен от руководства институтом. Они оба, высоко оценивая вклад друг друга, отказались от Ленинской премии за эту работу, отдав всю ее сотрудникам ИФП.

### Список литературы:

1. Наука и общество: история советского атомного проекта (1940–1950 годы). Труды международного симпозиума ИСАП–96. М.: ИздАТ; 1997. 608 с. ISBN 5-86656-073-9
2. Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. М.: ЦНИИАтоминформ; 1994. 380 с. ISBN 5-85-165-011-7
3. Губарев В.С. Ядерный век. Бомба. М.: ИздАТ; 1995. 400 с. ISBN 5-86656-027-5
4. Первая леди советской атомной науки. Сборник статей к 100-летию со дня рождения З.В. Ершовой, под ред. М.В. Владимировой. М.: ВНИИНМ; 2004. 128 с. ISBN 5-88921-020-3
5. Сырьевая база атомной промышленности. События, люди, достижения. Авторы составители: Ю.В. Нестеров, Н.П. Петрухин М.: АО «Атомредметзолото»; 2015. 288 с.
6. Склодовская-Кюри М. Радиоактивность: пер. с фр. З.В. Ершовой, В.Д. Никольского, под ред. В.И. Баранова. М., Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы; 1947. 520 с.
7. Всероссийский научно-исследовательский институт химической технологии. ВНИИХТ – 50 лет: Юбилейный сборник трудов. М.: ЦНИИАтоминформ; 2001. 448 с. ISBN 5-87911-067-2
8. Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии. ВНИИХТ – 60 лет: Юбилейный сборник трудов. М.: ООО «Леонард – Дизайн»; 2011. 528 с.
9. Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии. ВНИИХТ – 65 лет: Сборник научных трудов. М.: ООО «ВИНПРЕСС»; 2016. 368 с. ISBN 978-5-9908229-0-0
10. Уран и люди – полвека вместе. История ГМЗ в воспоминаниях очевидцев. Украина, м. Жовті Води, ГП «ВостГОК», ООО «Предприятие Норма»; 2009. 496 с.

Технология получения трития согласно (2) не в бомбе, а в земных условиях, для первого термоядерного заряда разрабатывалась в НИИ-9 с 1950 года под руководством К.А. Большакова в лаборатории З.В. Ершовой [18–20]. И уже в наше время, после завершения САП, технология переработки керамических изделий из лития-6, облученных в реакторе с целью получения трития, используется на комбинате «Маяк» для наработки основного компонента топлива строящегося во Франции ИТЭР (международный термоядерный экспериментальный реактор).

### Заключение

Приведенный краткий обзор реализации советского атомного проекта, убедительно показывает существенный вклад САП в химию и технологию изотопов самых легких и самых тяжелых химических элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interest.*

### References:

1. *Nauka i obshchestvo: istoriya sovetskogo atomnogo proekta (1940–1950 gody). Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma ISAP–96.* (Science and society: History of the Soviet atomic project (1940–1950). Proceedings of the International Symposium ISAP–96), Moscow: IzdAT; 1997. 608 p. (in Russ.). ISBN 5-86656-073-9
2. Kруглов А.К. *Kak sozdavalas' atomnaya promyshlennost' v SSSR* (How the atomic industry was created in the USSR), Moscow: TsNIIAtominform; 1994. 380 p. (in Russ.). ISBN 5-85-165-011-7
3. Gubarev V.S. *Yadernyi vek. Bomba* (Nuclear age. Bomb), Moscow: IzdAT; 1995. 400 p. (in Russ.). ISBN 5-86656-027-5
4. *Pervaya ledi sovetskoi atomnoi nauki. Sbornik statei k 100-letiyu so dnya rozhdeniya Z.V. Ershovoi* (First lady of the Soviet atomic science. Collection of articles for the 100th anniversary of the birth of Z.V. Ershova), Vladimirova M.V. (Ed.) Moscow: VNIINM; 2004. 128 p. (in Russ.). ISBN 5-88921-020-3
5. Nesterov Yu.V., Petruhin N.P. (eds.) *Syr'evaya baza atomnoi promyshlennosti. Sobytiya, lyudi, dostizheniya* (The raw material base of the atomic industry. Events, people, achievements). Moscow: Atomredmetzoloto; 2015. 288 p. (in Russ.).
6. Baranov V.I. (Ed.) *Skłodowska-Curie M. Radioactivity: A translation from the French by Z.V. Ershova and V.D. Nikolskii.* Moscow, Gostekhizdat; 1947. 520 p. (in Russ.).
7. All-Russian Research Institute of Chemical Technology. *VNIKhT – 50 years: Anniversary collection of works.* Moscow: TsNIIAtominform; 2001. 448 p. (in Russ.). ISBN 5-87911-067-2
8. Leading Research Institute of Chemical Technology. *VNIKhT – 60 years: Anniversary collection of works.* Moscow: Leonard-Design; 2011. 528 p. (in Russ.).
9. Leading Research Institute of Chemical Technology. *VNIKhT – 65 years. Collection of proceedings.* Moscow: WINPRESS; 2016. 368 p. (in Russ.). ISBN 978-5-9908229-0-0
10. Uranium and humans are half a century together. The history of the GMZ in the memories of witnesses. Zhovti Vody, Ukraine: VostGOK, Enterprise Norm; 2009. 496 p. (in Russ.).

11. Чесноков Н.И. Создание и развитие уранодобывающей промышленности в странах восточной Европы. М.: Информационно-издательский центр «Информ-Знание»; 1998. 236 с. ISBN 5-8032-0004-2

12. Славский Е.П. Творцы атомного века. М.: Слово и Дело; 2013. 380 с. ISBN 978-5-9904750-1-4

13. Нестеров Ю.В. Иониты и ионообмен, Сорбционная технология при добыче урана и других металлов методом подземного выщелачивания. М.: ОАО «Атомредметзолото»; 2007. 480 с. ISBN 978-5-94982-039-8

14. Кикоин И.К., Сазыкин А.А., Галкин Н.П. Получение и обогащение гексафторида урана. Атомная наука и техника в СССР. М.: Атомиздат; 1977. 520 с.

15. Синёв Н.М. Обогащенный уран для атомного оружия и энергетики. М.: ЦНИИАтоминформ; 1991. 138 с.

16. На сверхвысоких оборотах. Уральскому электрохимическому комбинату 70 лет. М.: «Страна Росатом – Атом-пресса»; № 25 (393), 8 – 14.07.19, с. 4–5.

17. Александров П.А. Академик Анатолий Петрович Александров. Прямая речь. М.: Наука; 2002. 248 с. ISBN 5-02-003914-4

18. Владимировна М.В. Создание технологии получения трития. В кн. Первая леди советской атомной науки. Сборник статей к 100-летию со дня рождения З.В. Ершовой, под ред. М.В. Владимировой. М.: ВНИИИМ; 2004. С. 65.

19. Ершова З.В., Васильев В.Г. Ядерно-химические процессы в литиевых материалах. Труды Всесоюзного совещания по инженерным проблемам управляемого термоядерного синтеза. Ленинград: НИИЭФА им. Д.В. Ефремова; т. 4, 1975. 316 с.

20. Владимировна М.В. Наука – любовь моя (воспоминания ученой дамы). М.: ФГУП ВНИИИМ; 2006. 116 с. ISBN 5-88921-022-X

21. Атомный век. События, люди, дела. Массово-политическое издание к 60-летию Советского атомного проекта. Электросталь, ГП «Фирма «Атомпресса»; 2005. 460 с.

22. Михайлов В.М. Я – «ястреб». Воспоминания, публикации, интервью. 1988–2004 годы. Москва, Саров, Саранск, 2004. 324 с. ISBN 5-7493-0618-6

23. 70 лет атомной отрасли. Цепная реакция успеха. Альбом выставки в Государственном манеже. «Историко-культурный центр» Госкорпорации «Росатом». М.: 2016. 124 с.

24. Атомный век: хроника и фотографии. Историко-литературное издание. М.: ГП «Фирма «Атомпресса»; 2010. 444 с.

11. Chesnokov N.I. *Sozdanie i razvitie uranodobyvayushchei promyshlennosti v stranakh vostochnoi Evropy* (Creation and development of uranium mining industry in Eastern Europe). Moscow: Inform-Znanie; 1998. 236 p. (in Russ.). ISBN 5-8032-0004-2

12. Slavsky E.P. *Tvortsy atomnogo veka* (The creators of the atomic age). Moscow: SlovoDelo; 2013. 380 p. (in Russ.). ISBN 978-5-9904750-1-4

13. Nesterov Yu.V. *Ionity i ionoobmen, Sorbtionnaya tekhnologiya pri dobyche urana i drugikh metallov metodom podzemnogo vyshchelachivaniya* (Ionites and ion exchange, Sorption technology in the extraction of uranium and other metals by underground leaching). Moscow: Atomredmetzoloto; 2007. 480 p. (in Russ.). ISBN 978-5-94982-039-8

14. Kikoin I.K., Sazykin A.A., Galkin N.P. *Poluchenie i obogashchenie geksaforida urana. Atomnaya nauka i tekhnika v SSSR* (Obtaining and enrichment of uranium hexafluoride. Nuclear science and technology in the USSR). Moscow: Atomizdat; 1977. 520 p. (in Russ.).

15. Sinyov N.M. *Obogashchennyi uran dlya atomnogo oruzhiya i energetiki* (Enriched uranium for atomic weapons and energy). Moscow: TsNIIAtominform; 1991. 138 p. (in Russ.).

16. At ultra-high speeds. Ural electrochemical plant is 70 years old. Moscow: *Country Rosatom – Atom-press*, 2019 July 8–14; 25(393):4–5 (in Russ.).

17. Alexandrov P.A. *Akademik Anatolii Petrovich Aleksandrov. Pryamaya rech'* (Academician Anatoly Petrovich Alexandrov. Direct speech). Moscow: Nauka; 2002. 248 p. (in Russ.). ISBN 5-02-003914-4

18. Vladimirova M.V. (Ed.) Creation of technology for producing tritium. In: *Pervaya ledi sovetsoi atomnoi nauki. Sbornik statei k 100-letiyu so dnya rozhdeniya Z.V. Ershovoi* (First lady of the Soviet atomic science. Collection of articles for the 100th anniversary of the birth of Z.V. Ershova). Moscow: VNIINM; 2004, p. 65. (in Russ.).

19. Ershova Z.V., Vasilyev V.G. Nuclear and chemical processes in lithium materials. In: *Trudy Vsesoyuznogo soveshchaniya po inzhenernym problemam upravlyаемого termoyadernogo sinteza* (Proceedings of the All-Union Meeting on Engineering Problems of Controlled Thermonuclear Fusion). Leningrad: D.V. Efremov NIIIEFA; 1975, 4. 316 p. (in Russ.).

20. Vladimirova M.V. *Nauka – lyubov' moya (vospominaniya uchenoi damy)* (Science is my love (memories of the learned lady)). Moscow: FSUE VNIINM; 2006. 116 p. (in Russ.). ISBN 5-88921-022-X

21. Atomic age. Events, people, business. Mass-political publication for the 60th anniversary of the Soviet atomic project. Electrostal: Firm Atompressa; 2005. 460 p. (in Russ.).

22. Mikhailov V.M. *Ya – "yastreb". Vospominaniya, publikatsii, interv'yuu. 1988–2004 gody* (I am hawk. Memories, publications, interviews. 1988–2004). Moscow, Sarov, Saransk: 2004. 324 p. (in Russ.). ISBN 5-7493-0618-6

23. 70 years of nuclear industry. Chain reaction of success. Album of the Exhibition in the State Arena. Historical and Cultural Center of Rosatom State Corporation. Moscow: 2016. 124 p. (in Russ.).

24. Atomic age: Chronicles and photographs. Historical and literary edition. Moscow: Firm Atompressa; 2010. 444 p. (in Russ.).

#### Об авторе:

**Кузин Рудольф Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории радиационного контроля АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (АО «ВНИИХТ», предприятие Госкорпорации «Росатом») (115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, д. 33). E-mail: rkuzin256@mail

#### About the author:

**Rudolf E. Kuzin**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher of the Radiation Control Laboratory, All-Russian Research Institute of Chemical Technology (33, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia). E-mail: rkuzin256@mail

Поступила: 25.07.2019; Получена после доработки: 15.11.2019; Принята к опубликованию: 16.12.2019.

Submitted: July 25, 2019; Reviewed: November 15, 2019; Accepted: December 16, 2019.