

аэродинамической трубе с тепловыделением 2 Мвт (скорость разреженного газа 16 М при температуре 12 000° К). В докладе Ш. Стрегга (США) описана вакуумная камера для испытания бортовых ядерных реакторов США-8 при вакууме 10^{-5} мм рт. ст. в течение 10 тыс. ч. О сверхвысоковакуумной камере с разрежением $1 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст., примененной в ядерных экспериментах по измерению энергетического спектра протонов, рождающихся в результате распада нейтрона, доложил Е. Бэлтэсла (Австрия).

Основные тенденции развития откачных средств за прошедшие три года после III Вакуумного конгресса проявляются в большом количестве докладов, посвященных разработке и исследованию безмасляных средств откачки. В настоящее время сверхвысокий безмасляный вакуум получают с помощью ионных, геттерно-ионных, магниторазрядных, сорбционных и криогенных насосов. Этим средствам откачки посвящено 28 докладов.

Доклад Д. Эндрю (Англия) посвящен развитию магниторазрядных насосов за прошедшие 10 лет. Описаны экспериментальные исследования механизма разряда, элементарной ячейки; приводятся соображения по экономическим показателям в зависимости от компоновки, по повышению скорости откачки инертных газов и др.

В некоторых докладах описаны характеристики нестабильностей, усовершенствования конструкции диодных и триодных магниторазрядных насосов, безмагнитные электроразрядные насосы типа орбитрон.

Доклад Д. Робертсона (США) посвящен разработке титанового геттерного насоса для откачки камеры имитации космического пространства. Для получения титанового геттера применяется испаритель титана со скоростью испарения 6 г/ч и ресурсом работы 200 ч.

В докладе Е. Масленникова и др. (СССР) описываются три типа испарителей титана, применяемых для азотитной откачки в термоядерной установке «Огра-П», со скоростью испарения 60 и 100 мг/мин. Механизм холодного разряда с распылением титана используется в новом типе ловушек на линиях форвакуумной откачки, о которых доложил Дж. Саррау (Франция). Применением таких ловушек удается почти полностью избавиться от паров масел, идущих из механических насосов.

По-прежнему много внимания уделяется методам измерения вакуума и калибровке манометров. В докладах В. Дэвиса и Л. Бёквиста (США) описывается методика, аппаратура и анализируются возможные ошибки при калибровке манометров при давлениях ниже 10^{-13} мм рт. ст.

Доклад Г. Грошковского (Польша) посвящен новому типу ионизационного манометра для измерения давлений в диапазоне 10^{-5} — 10^{-12} мм рт. ст. А. Григорьев

(СССР) доложил о самоочищающемся манометре, предназначенном для работы в системах с большим содержанием масляных паров.

На секции «Масс-спектрометрии и газового анализа» основное внимание было уделено квадрупольным масс-спектрометрам, а также миниатюрным и упрощенным устройствам для анализа остаточных газов в электровакуумных приборах и установках. Г. Шварц (США) доложил о разработке квадрупольного ионизационного манометра. В докладе Ф. Кандаля и др. (США) было доложено об использовании вакуумного четырехполюсника (эквивалентного четырехполюснику Кирхгофа) для анализа газа. Импульсно меняя давление газа в одном объеме и затем измеряя изменение давления во времени в другом объеме, можно определить массовый состав газа, так как проводимость канала между двумя объемами зависит от молекулярного веса газа. Таким методом можно проводить анализ газа при давлениях до 50 мм рт. ст. с точностью до долей процента.

Наибольшее количество докладов было посвящено вакуумному напылению тонких пленок. В докладах описаны исследования структуры и свойств поликристаллических и монокристаллических пленок, конструкции напылительных установок, техника программного управления процессами напыления, методы и приборы для контроля толщины пленок в процессе нанесения, аппаратура для ионно-плазменного распыления.

На секции «Вакуумная металлургия» Р. Банিশем (США) был сделан доклад с некоторым рекламным оттенком о будущем бурно развивающейся электронно-лучевой технологии, ее месте в новых областях промышленности. В докладе В. Дитриха (ФРГ) приводится описание новой электроннолучевой плавильной установки с максимальной мощностью в каждом из четырех лучей до 125 квт.

На выставке вакуумно-технологического оборудования и приборов были представлены разнообразные типы вакуумного откачного, измерительного, контрольного, аналитического оборудования, вакуумные технологические установки, вакуумные материалы и компоненты. В электронной части этих вакуумных установок широко используются полупроводниковые приборы и интегральные схемы, автоматическое программное управление; появились новые термостойкие упругие уплотнительные материалы, которые заменяют неудобные в эксплуатации металлические уплотнения в прогрееваемых до 300—400° С установках сверхвысокого вакуума (фторкаучуки, полиимиды и др.); в технологии изготовления аппаратуры сверхвысокого вакуума все чаще отказываются от сварки и заменяют ее пайкой в вакууме.

Ю. М. Пустовойт

Урановая промышленность капиталистических стран в 1967 г.

1967 год явился поворотным в развитии урановой промышленности капиталистических стран. Намечившийся в 1966 г. выход этой отрасли из кризисного состояния, в котором она находилась в 1960—1965 гг., сменился в 1967 г. подъемом. Это нашло выражение в росте добычи урановой руды и производства концентратов; значительном расширении поисковых и геологоразведочных работ; активизации подготовок к возобновлению эксплуатации некоторых закрытых ранее предприятий; модернизации и расширении мощности

отдельных действующих рудников и заводов по производству урановых концентратов; строительстве новых крупных предприятий. Значительно выросли цены на урановые концентраты на «свободном» рынке.

Быстрый переход урановой промышленности в группу «процветающих» отраслей экономики объясняется резким возрастанием темпов развития ядерной энергетики. В конце 1967 г. в капиталистических странах действовали 49 АЭС (65 реакторов) общей мощностью 8,9 млн. квт, велось строительство или были заказаны

77 АЭС (111 реакторов, включая устанавливаемые и заказанные для действующих АЭС) общей мощностью 69,6 млн. *квт.* Кроме того, завершалось проектирование (с решением о строительстве в 1968—1969 гг.) еще 53 АЭС (76 реакторов, включая реакторы для расширения действующих, сооружаемых и заказанных АЭС) общей мощностью 49,5 млн. *квт.* Только в 1967 г. в капиталистических странах были заключены договоры на строительство 48 комплектов ядерных паропроизводительных установок общей мощностью 35,1 млн. *квт.* Для их первоначальной загрузки горючим и эксплуатации в течение 25—30 лет потребуется 100—140 тыс. *т* U_3O_8 .

Согласно последней официальной оценке Комиссии по атомной энергии (КАЭ) США, потребление урана АЭС в стране возрастет с 6,8 тыс. *т* U_3O_8 в 1970 г. до 19,1 тыс. *т* U_3O_8 в 1975 г. и 34,5 тыс. *т* U_3O_8 в 1980 г. [1]. В 1964 г. специалисты КАЭ США оценивали

потребность американских АЭС в 2,6 тыс. *т* U_3O_8 в 1970 г. и 20,9 тыс. *т* U_3O_8 в 1980 г. [2].

Бурное развитие промышленной ядерной энергетики, активная закупка урановых концентратов на основе заключения долгосрочных соглашений (на период до 10 и более лет), ограниченность промышленных запасов урана (в настоящее время в эту категорию включают руды, добыча и переработка которых рентабельна при рыночной цене уранового концентрата до 22 *долл./кг* U_3O_8) обусловили значительное расширение поисковых и геологоразведочных работ во многих странах. Впервые после 1957 г. появились сообщения об открытии новых значительных месторождений урановых руд.

Из опубликованных в последнее время данных следует, что общие (геологические) запасы урана в капиталистических странах в 1966—1967 гг. возросли приблизительно на 860 тыс. *т* U_3O_8 , в основном за счет ЮАР (на 270 тыс. *т* U_3O_8), США (на 160 тыс. *т* U_3O_8),

Геологические запасы урана (тыс. *т* U_3O_8) в капиталистических странах [3—7]

Таблица 1

Страна	Всего	Месторождения, рентабельные для разработки при рыночной цене 1 кг U_3O_8 в стандартном урановом концентрате					
		до 22 <i>долл.</i>		22—33 <i>долл.</i>		33—66 <i>долл.</i>	
		достоверные и вероятные	возможные	достоверные и вероятные	возможные	достоверные и вероятные	возможные
США	1496,8	281,2 ¹	317,5 ²	136,1 ³	181,4	181,4 ⁴	399,2
Канада	1079,8 ⁵	181,4	263,1	418,2	154,2	90,7	272,2
ЮАР	403,8	186,0	13,6	59,0	31,8	49,9	63,5
Швеция	680,4 ⁶	—	—	317,5	45,4	136,1	181,4
Испания	281,2 ⁷	10,0	...	3,6	27,2	13,6	226,8
Аргентина	146,1	8,2	-19,1	10,0	29,0	13,6	66,2
Индия	80,7	—	—	2,7	0,9	21,8	55,3
Франция	73,6	41,9	18,1	4,5	9,1	...	...
Нигер	34,5	10,9	11,8	11,8	...	...	...
Португалия	34,0	8,6	5,9	...	10,4	...	...
Италия	28,6	1,4	...	9,1 ⁸	...	18,1 ⁸	9,1
Марокко	22,6 ⁹	5,4	...	10,0	...	7,2	...
Австралия	17,1 ¹⁰	9,7	2,7	2,5	0,9	1,3	...
Ангола	13,6	...	...	13,6	...	...	...
Габон	6,8	3,6 ¹¹	3,2	...	...	...	...
Конго (Киншаса)	5,4	5,4	...	...	...	...	...
Гренландия	4,5	...	...	...	...	...	...
Япония	3,6	...	...	4,5 ¹²	...	...	...
Прочие ¹³	118,7	4,5	18,1	3,6	...	...	...
				5,4	...	90,7 ¹⁴	...
Всего	4531,8	758,2	673,1	712,1	490,3	624,4	1273,7

1 В том числе 108,9 тыс. *т* U_3O_8 , которые могут быть получены в качестве побочного продукта при производстве фосфорной кислоты и из отходов металлургического производства (на базе производства до 2000 г.).
 2 То же — 22,7 тыс. *т* U_3O_8 .
 3 То же — 45,4 тыс. *т* U_3O_8 .
 4 То же — 90,7 тыс. *т* U_3O_8 .
 5 С учетом потерь при добыче и обогащении (25%).
 6 При извлечении 35% урана, содержащегося в сланцах.
 7 Без учета месторождения близ Памплоны, открытого в конце 1967 г.
 8 В качестве побочного продукта производства циркония, титана и других элементов.
 9 В качестве побочного продукта при производстве фосфорной кислоты.
 10 Только в районах известных месторождений, включая запасы на складах (2,5 тыс. *т* U_3O_8).
 11 Только на месторождении Мунана.
 12 Потенциальные запасы оцениваются в 180—270 тыс. *т* U_3O_8 .
 13 ФРГ, Турция, Мексика, Малагасийская республика, Бразилия. Не включены из-за отсутствия надежных сведений запасы урана в Центрально-Африканской республике, ОАР, Тунисе, Пакистане и др.
 14 Только в Бразилии.

Аргентины (на 110 тыс. $t U_3O_8$), Бразилии (на 90 тыс. $t U_3O_8$), Индии (на 65 тыс. $t U_3O_8$) и Нигера (на 34,5 тыс. $t U_3O_8$). Прирост запасов в большинстве стран связан не с открытием новых месторождений, а с переоценкой данных о запасах на уже известных месторождениях или опубликованием более полных сведений, в частности о запасах сравнительно бедных руд (табл. 1).

Промышленные запасы урана в капиталистических странах за 1966—1967 гг. увеличились примерно на 180 тыс. $t U_3O_8$, или почти на 30%. Основной причиной столь значительного роста явился пересмотр промышленных запасов урана в фосфатах США в сторону их увеличения на 63,5 тыс. $t U_3O_8$, поскольку КАЭ США разработала новый, более эффективный процесс извлечения урана из продуктов переработки фосфатного сырья. Кроме того, в США успешно завершено исследование возможностей промышленного получения урана из растворов, образующихся в процессе обработки медных концентратов кислотами. Предполагается, что на предприятиях медной промышленности США до 2000 г. возможно извлечение 27 тыс. $t U_3O_8$ с издержками 17,6—22 долл./кг U_3O_8 [3, 7]. Существенно возросли промышленные запасы в ЮАР (на 60 тыс. $t U_3O_8$), Нигере (на 10,9 тыс. $t U_3O_8$), а также во Франции, Португалии и Аргентине.

По данным КАЭ США, промышленные запасы урановых руд в стране в 1967 г. увеличились на 16,1 тыс. $t U_3O_8$ по сравнению с 5,3 тыс. $t U_3O_8$ в 1966 г. (без учета запасов в фосфатах). Однако достигнутый прирост запасов еще значительно уступал максимальному уровню, отмеченному в 1957 г. (94,3 тыс. $t U_3O_8$) [8, 9]. Вместе с тем впервые после 1959 г. увеличение промышленных запасов в 1967 г. было более значительным по сравнению с добычей (на 6,3 тыс. $t U_3O_8$).

Рост запасов был достигнут за счет резкого расширения разведочного бурения. Объем буровых работ в 1967 г. составил 3265 тыс. м по сравнению с 1280 тыс. м в 1966 г. и 2804 тыс. м в 1957 г. 51% всех буровых работ пришлось на бурение, связанное с поисками новых месторождений урана, 49% — на подготовительное бурение, необходимое для проектирования рудников и экономических расчетов; 25% подготовительного бурения было проведено в районах, расположенных на расстоянии более 80 км от действующих заводов по производству урановых концентратов. Поисковыми и геологоразведочными работами охвачено свыше 30 районов в западных штатах страны; поиски урана начинают развертываться в центральных и восточных штатах. Однако основные усилия по-прежнему сконцентрированы в штатах Вайоминг и Нью-Мексико, на которые пришлось почти 75% всего разведочного бурения [7, 10, 11].

Обращает внимание низкий удельный прирост промышленных запасов урана в США в 1967 г., который составил всего 5 кг U_3O_8 на 1 м буровых работ по сравнению с 12,7 кг U_3O_8 на 1 м в 1948—1965 гг. Отчасти это связано с тем, что бурение ведется на все большую глубину, в нем участвует большое число фирм, не имеющих еще достаточного опыта в области разведки урановых месторождений; большой удельный вес занимало подготовительное бурение (49% в 1967 г. по сравнению с 17% в 1965 г.); кроме того, Комиссия по атомной энергии США включает в категорию промышленных только запасы на месторождениях урановых руд, рентабельных для разработки при рыночной цене уранового концентрата до 17,6 долл./кг U_3O_8 , что предполагает содержание в руде не менее 0,2 процентов U_3O_8 .

Из сообщений фирм вытекает, что прирост запасов урановых руд в США в 1967 г. был более значительным по сравнению с данными КАЭ США. В районе Ширли-Бэсин (шт. Вайоминг) достоверные запасы урана на месторождениях, принадлежащих фирме «Гетти ойл», в течение нескольких месяцев были, по-видимому, увеличены на 10 тыс. $t U_3O_8$ [12]. Обнаружено месторождение урановой руды в Чёрч-Рок (шт. Нью-Мексико) с запасами урана в 9 тыс. $t U_3O_8$ [13]. Сообщалось об открытии «очень большого» месторождения в 70 км северо-восточнее Каспера (центральная часть шт. Вайоминг). Указывается на возможность разработки месторождения открытым способом [14]. Промышленное месторождение урановой руды, залегающей на глубине от 40 до 55 м, найдено в Пойсон-Спидер, в 112 км юго-западнее Каспера (шт. Вайоминг) [15]. Открыто месторождение урановой руды на юге штата Юта (районы Сан-Хуан и Лисбон-Вэлли). Содержание урана в образцах составляет 0,1—1,0% U_3O_8 , возможные запасы оцениваются в 20 тыс. $t U_3O_8$ [16]. Запасы нового месторождения в районе Спокане (шт. Вайоминг) оцениваются в 4,5 тыс. $t U_3O_8$ [17].

В поиски урановых руд включились крупнейшие нефтяные компании, которые, однако, еще не обнаружили крупных промышленных месторождений урана.

Согласно данным опроса 49 частных фирм, проведенного в середине 1967 г. КАЭ США, в 1967—1970 гг. в США будет выполнено разведочное бурение объемом 16 400 тыс. м, или в среднем 4 100 тыс. м/год и израсходовано 77 млн. долл., т. е. менее 5 долл. на 1 м [18]. Представители частных фирм считают, что по некоторым причинам стоимость буровых работ возрастет и составит 7,4 долл. на 1 м [12]. Согласно другой оценке, поисковое бурение обходится в настоящее время в 4,9 долл. на 1 м при бурении на глубину 90—150 м и 10—13 долл. на 1 м при бурении на глубину 600 м [19]. Представители американских финансовых кругов высказывают мнение, что для обеспечения потребности АЭС в горючем в период до 1980 г. на поиски и разведку месторождений урановых руд в стране необходимо израсходовать 1—1,5 млрд. долл. [14].

В Канаде около 70% всех поисковых и геологоразведочных работ приходится на провинцию Онтарио, 20% — Саскачеван, остальные 10% — на Квебек, Ньюфаундленд, Северо-Западные Территории и Манитоба [20]. Особенно интенсивно в 1967 г. велись работы в районе Блайнд-Ривер (Онтарио). В 70 км восточнее Эллиот-Лейк, в районе оз. Агню, найдено месторождение с запасами 9,4 млн. t руды со средним содержанием 0,08% U_3O_8 , или 7,3 тыс. $t U_3O_8$, включая 4,5 млн. t с содержанием 0,1% U_3O_8 . Геологические условия эксплуатации месторождения более благоприятны, чем в Эллиот-Лейк; кроме того, в руде содержатся промышленные концентрации редкоземельных элементов, в частности иттрия [21]. Западнее Бэнкрофта (на юго-востоке провинции), в районе оз. Лункол, уже подсчитанные запасы составили 400 тыс. t руды со средним содержанием 0,08% U_3O_8 [22, 23].

Поисковые и геологоразведочные работы в провинции Саскачеван концентрируются в районе Юрейниум-Сити — Стоун-Рэпидс, а также в Лак-Ларонж (190 км севернее г. Принц Альберт), оз. Фостер (160 км севернее Лак-Ларонж), оз. Фробшер (320 км южнее Юрейниум-Сити). Изучаются возможности извлечения урана из лигнитов Кипресс-Хиллз и Вуд-Маунтин на юго-западе провинции.

Разведенные фирмой «Эльдорадо майнинг энд рифайнинг» запасы урановых руд в этом районе выросли

за 1965—1967 гг. с учетом добычи на 6235 т U_3O_8 . Расходы на поисковые и разведочные работы составили в этот период 0,112 долл./кг U_3O_8 по сравнению с 0,022 долл./кг U_3O_8 для месторождения Эллиот-Лейк, открытого в 50-х годах. Считается, что в связи с обеспечением доллара, ростом глубины бурения и различными накладными расходами удельные расходы на открытие дополнительных запасов составят в будущем 0,33—0,44 долл./кг U_3O_8 [24]. Фирма «Энекс майнз» в результате бурения в районе Юрейниум-Сити обнаружила на глубине 38 м руду, содержащую до 2,67% U_3O_8 , а на глубине 42 м — 1,34% U_3O_8 [25]. Активно действуют в Саскачеване и некоторые иностранные фирмы.

По мнению Управления ресурсов провинции Квебек, наиболее перспективными являются: район оз. Мистассини (северо-восточнее г. Чибогамаи на северо-западе Квебека), район Джуан Битц (недалеко от г. Авр-Сен-Пьер, в 650 км от Квебек-Сити), где на месторождении, открытом фирмой «Грандрой майнз», среднее содержание урана в руде составляет 0,17% U_3O_8 (на отдельных участках — 0,28% U_3O_8), а также район Св. Симеона (в 200 км от Квебек-Сити). В районе Лак-Форестир, в 100 км севернее г. Мон-Лаурир, обнаружено месторождение руды, содержащей 0,1% U_3O_8 , а также торий, цирконий и редкоземельные элементы [26]. Ведутся поиски урана также в Хантерс-Пойнте, в 40 км северо-восточнее Темискаминга.

Канадская фирма «Бритиш Ньюфаундленд» совместно с западно-германским урановым консорциумом «Урангезельшафт» ведет обследование территории площадью свыше 2000 км² в восточных районах Лабрадора; начата детальная разведка месторождения Киттс, открытого еще в 1956 г. [27].

В ближайшие годы следует ожидать разведки больших запасов урана в Канаде.

В ЮАР переоценка запасов на известных месторождениях и расширение геологоразведочных работ обусловили существенный рост общих (геологических) запасов урана. В 1967 г. только промышленные запасы выросли на 14 тыс. т U_3O_8 . Фирма «Рэндфонтейн истейтс» открыла месторождение с запасами 5,5 млн. т руды с повышенным содержанием золота и 0,036% U_3O_8 (~2 тыс. т U_3O_8) и 14 млн. т руды с низким содержанием золота и 0,6% U_3O_8 (~8,4 тыс. т U_3O_8). Фирма «Луипаардсвлей» обнаружила месторождение с запасами 9 млн. т с повышенным содержанием золота и 0,027% U_3O_8 (~2,4 тыс. т U_3O_8) и 3 млн. т руды с низким содержанием золота и 0,06% U_3O_8 (~1,8 тыс. т U_3O_8) [28].

Перспективы дальнейшего расширения запасов урана в ЮАР весьма благоприятны. Поисковыми работами в восточных районах Западного Витватерсранда установлена возможность расширения запасов до более чем 200 тыс. т U_3O_8 .

Во Франции непрерывающиеся поиски обеспечивали систематический прирост промышленных запасов урана. Согласно данным КАЭ Франции, чистый прирост запасов в 1966 г. составил 2 тыс. т U_3O_8 , а с учетом добычи — 3,3 тыс. т U_3O_8 [4].

Успешными оказались работы геологов КАЭ Франции в Нигере. Ранее здесь было открыто месторождение в Азелике с запасами 2 млн. т руды со средним содержанием 0,35% U_3O_8 при глубине залегания 100 м, затем — месторождение в 120 км северо-восточнее Азелики с запасами ~8 тыс. т U_3O_8 . Однако присутствие в руде карбоната кальция удорожало переработку этих руд и делало освоение месторождений неце-

лесообразным. Начиная со второй половины 1965 г. разведочные работы концентрируются в районе Арлита, расположенного в 190 км севернее г. Агадес (южная часть Сахары). В 1967 г. здесь была успешно завершена первая стадия детальных геологоразведочных работ на площади ~3 км². Общие запасы урана на этом участке оцениваются (предварительно) 24 тыс. т U_3O_8 при среднем содержании в руде 0,25% U_3O_8 . Крупные размеры месторождения, неглубокое залегание (максимум 35 м) и благоприятный химический состав руды (отсутствие карбоната кальция) делают его эксплуатацию вполне рентабельной, несмотря на повышенные расходы, связанные с освоением месторождения. И хотя только сухопутная перевозка до ближайшего порта (в Дагомее) достигает 2 тыс. км, а полная стоимость фрахта от Агадеса до Франции превышает 6 долл./т, полная стоимость уранового концентрата не будет превышать 17,6 долл./кг U_3O_8 [29].

Согласно оценке [29], продолжение поисковых и геологоразведочных работ в Нигере, в частности в Ариане, Арлекине и Арнольде, позволит довести общие запасы урана в стране до 60 тыс. т U_3O_8 .

Продолжается изучение перспективного месторождения в Бакуме на востоке Центрально-Африканской Республики, и ведутся поиски в районе Либревилья на северо-западе Габона, в Сембе-Оуессо в Конго (со столицей в Браззавиле), в Фебро, на восток от Дакара, на севере Сенегала, в районе Канди в Дагомее [4].

Согласно заявлению Министерства экономики Ирана, французские геологи примут участие в поисках урана в отдельных районах страны, включая Анаран (наиболее перспективный), Исфahan и Иранский Азербайджан [30].

Между правительственными организациями Франции и Бразилии ведутся переговоры об участии французских геологов в поисках месторождений урана в Бразилии. Стоимость работ оценивается в 7 млн. долл., причем Франция возместит 50% расходов в том случае, если будет найдено менее 15 тыс. т U_3O_8 [31].

Сообщалось [32] об участии Франции в буровых работах в Испании, в горной местности на севере страны, где во второй половине 1967 г. открыто месторождение урана (по-видимому, крупное, протяженностью ~9 км и хорошего качества). КАЭ Испании намечает начать поиски урана в своих африканских владениях: Испанской Сахаре и Испанской Юго-Западной Африке [33].

В соответствии с рекомендациями Немецкого атомного форума о скорейшем изыскании средств для участия ФРГ в поисках месторождений урана созданы два объединения крупных фирм, на которые возложены поиски, разведка и освоение месторождений урана (и тория), строительство и эксплуатация урановых рудников и заводов, а также торговля рудой, концентратами и химическими соединениями. Государственные ассигнования на поиски урановых месторождений только за 1966—1967 гг. составили в ФРГ 1 млн. долл., а в других странах — еще 0,25 млн. долл. [34].

Из других западноевропейских стран поисковые и разведочные работы по урану ведутся также в Португалии, Италии, Швейцарии, Швеции. Особый интерес был проявлен американскими фирмами к получению концессий на обследование перспективных районов в Греции [35].

В Индии поисковые бурение составило 13 тыс. м, в том числе 80% в пределах медного пояса Сингхбхум (шт. Бихар). Были обследованы районы Галудих-Даварпурум и Барабамбо-Лотапахар (шт. Бихар). В собранных образцах содержание урана достигало

0,27% U_3O_8 . В добытых ~400 т руды в Чхиньяра (округ Кулу) содержалось в среднем 0,374% U_3O_8 , а в 25 т руды в Пат-Шарандогри (округ Махаз) содержалось 1,4% U_3O_8 . Подтверждено наличие перспективных участков (кварциты) севернее и южнее долины р. Тиртхана (округ Кулу). Новые участки урановой минерализации обнаружены в гнейсах и сланцах в районе Чаноли и в кварцитах в округе Уттар-Каши (шт. Уттар-Прадеш). В штате Мадхья-Прадеш детально обследовались месторождения Кеолари (округ Бетул) и Пачмархи (округ Хошангабад). Содержание урана в образцах составило соответственно 0,059% U_3O_8 и 0,033% U_3O_8 ; в заметных количествах присутствуют торий, редкоземельные элементы, ванадий, цирконий, а также германий, селен, молибден [36]. Проявлен интерес к магнетитам Нейвети (шт. Мадрас), содержащим 0,005—0,086% U_3O_8 , а на одном участке площадью ~13 км² — минимум 0,01% U_3O_8 [37].

В Японии разведанные запасы урановой руды возросли с 5,8 млн. т (3423 т U_3O_8) в 1966 г. до 7,6 млн. т (3648 т U_3O_8) в 1967 г. при среднем содержании 0,048% U_3O_8 [38]. В 1967 г. открыты два новых месторождения: в Абурага (преф. Ямагучи) с содержанием 0,24% U_3O_8 и в 160 км западнее Токио — с 0,04% U_3O_8 [39]. Государственные расходы на поиски урановых месторождений в 1967/68 финансовом году составят 556 тыс. долл. [40].

В Турции в 1967 г. найдены два месторождения урана в районе Демирай-Гердер (округ Алинда), которое имеет, по-видимому, промышленное значение, и в Лала-Паша, в 32 км от Эдирна [41].

Сообщалось об открытии месторождения урана на востоке Венесуэлы, в штате Боливар, неподалеку от границы с Бразилией [42].

В 1967 г. начаты поисковые работы на площади 440 га в горах Булдер-Джордж (Новая Зеландия). Присутствие радиоактивных руд в этом районе впервые было установлено 10 лет назад [43]. Возобновились поисково-разведочные работы в Австралии.

Добыча урановой руды в 1967 г., по предварительным данным, выросла на 8% по сравнению с предыдущим годом (табл. 2). Расширение добычи отмечалось во всех основных странах: США, Канаде и ЮАР. Вступил в действие рудник производительностью ~300 тыс. т/год руды в Джадугуде (Индия). Возобновилась добыча урановой руды (0,2% U_3O_8) на руднике Покос-де-Кальдос (шт. Минас-Жераис) в Бразилии.

Первое место по добыче (по содержанию U_3O_8 в руде) занимают США, где действуют около 600 рудников. Однако основное количество руды поступает с 26 рудников производительностью свыше 200 т руды в сутки каждый. Средние издержки добычи урановой руды сильно колебались по районам добычи и отдельным рудникам: от 10 до 40—50 долл. за 1 т, или 4,5—11,0 долл/кг U_3O_8 в концентрате [45]. В июне 1967 г. вступило в силу законодательство, которым предусматриваются более низкие допустимые уровни радиации на американских урановых рудниках, чем это имело место до сих пор. Ранее на 15—20% рудников уровень радиации в 10 раз превышал максимально допустимый новыми правилами [46]. Согласно данным КАЭ США, более жесткие нормы безопасности обусловили рост стоимости добычи по таким статьям как «вентиляция» и «контроль радиации» (от 0,26 долл/кг U_3O_8 у одних фирм до 2,2 долл/кг U_3O_8 у других). В некоторых фирмах расходы по статье «вентиляция» за последние 6—12 месяцев возросли на 100—300% [47].

В 1967 г. позиции американских урановых фирм на рынке значительно окрепли после заключения долгосрочных контрактов на поставку большого количества урановых концентратов коммерческим потребителям. В этой связи производство концентратов в ближайšie три года возрастает примерно на 50% по сравнению с 1967 г. Возобновляют работу некоторые закрытые ранее рудники и сооружаются новые, прежде всего в Вайоминге, Нью-Мексико и Юте.

Аналогичная картина наблюдается в Канаде, где новые рудники строятся в районах Эллиот-Лейк и Биверлодж; предполагалось начать строительство крупного рудника в районе оз. Агнью. Ведутся восстановительные работы на руднике Фэрдей (Банкрофт), закрытом несколько лет назад.

В ЮАР фирма «Буффельфонтейн» увеличила производительность своих рудников на 25%, фирма «Хартбисфонтейн» — почти на 30%, а фирма «Блай-вуруитзихт» приступила к строительству новых золото-урановых рудников [48, 49].

В 1967 г. между правительствами Франции и Нигера было подписано соглашение об освоении месторождения Арлит. Капиталовложения в строительство рудника производительностью 450 тыс. т/год руды, завода по производству урановых концентратов, электростанции мощностью 8 тыс. квт, системы водоснабжения и жилого городка для 1000 европейцев и 6000 африканцев, а также шоссеиной дороги протяженностью 250 км оцениваются в 200 млн. долл. Прямые капиталовложения в основные производственные объекты определяются в 45 млн. долл.

Производство урановых концентратов в капиталистических странах в 1967 г. впервые после 1959 г. возросло по сравнению с предыдущим годом. Согласно предварительным данным (табл. 3), рост производства в 1967 г. составил 4% по сравнению с 1966 г.

В 1967 г. количество действующих предприятий по производству урановых концентратов также возросло по сравнению с предыдущим годом в связи с возобновлением эксплуатации одного завода в ЮАР, закрытого в 1961 г., и завершением строительства в Индии завода мощностью 300 т/год. U_3O_8 (табл. 4).

Добыча урановой руды в капиталистических странах, млн. т [4—6, 25, 36, 44]

Страна	Среднее содержание U_3O_8 в руде, %	Годы				
		1959	1964	1965	1966	1967 ¹
США ²	0,24	6,2	5,1	4,0	4,0	4,5
Канада	0,12	12,7	4,7	2,4	2,5	2,8
ЮАР ³	0,034	22,3	11,6	7,3	8,6	8,9
Франция	0,14	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7
Австралия	0,15—0,2	0,7	0,1	—	—	—
Габон	0,5	—	0,1	0,1	0,1	0,1
Индия	0,07	...	...	...	...	0,1
Всего	—	42,5	22,4	14,6	15,9	17,1

¹ Оценка.
² Отгрузки с рудников.
³ Переработано на заводах.

Производство урановых концентратов в капиталистических странах, $m U_3O_8$ Таблица 3
[4—6, 36, 45, 50—53]

Страна	Годы				
	1959	1964	1965	1966	1967 ¹
США	14 870	10 748	9 473	8 625	9 520
Канада	14 420	6 385	4 039	3 574	3 386 ²
ЮАР	5 850	4 043	2 674	2 985	3 130
Франция	860	1 150	1 265 ³	1 345 ³	1 345
Габон	—	515	580	595	580
Австралия	1 000	335	250	200	150
Индия	...	...	...	...	50
Испания ²	—	77 ³	50	50	50
Швеция ²	9	—	18	35	50
Аргентина ³	12	34	47	47	47
Португалия ²	...	50	50	...	...
ФРГ	3	20 ⁴	20 ⁴	20 ⁴	20 ⁴
Малагасийская Республика	105	151	121	100	10
Япония	—	3	2	...	...
Конго (Киншаса)	2 110	—	—	—	—
Всего	39 500	23 500	18 600	17 600	18 350

1 Оценка.
2 См. замечания в тексте.
3 Содержание U_3O_8 в добытой руде.
4 Включая концентраты, произведенные из импортной руды.

Разработанный горным отделом Министерства внутренних дел США метод извлечения урана из растворов, образующихся в процессе обработки сырья на американских установках по извлечению меди, прошел «успешные испытания» на предприятиях крупной фирмы по производству меди «Кеннекотт копер корпорейшн». Полагают, что из этого источника возможно получение ~ 1 тыс. $m/год U_3O_8$ даже при современных ценах на урановые концентраты [7].

Согласно оценке американских специалистов в США, характерные полные издержки производства урановых концентратов составляют 13,2 долл./кг U_3O_8 , в том числе добыча (в долл./кг U_3O_8): добыча 6,05, перевозка руды до завода по производству урановых концентратов — 1,10, измельчение — 0,88, сортировка и хранение — 0,88, выпелачивание — 1,54, разделение — 0,88, извлечение — 0,88, концентрация — 0,55, сушка и упаковка — 0,33, размещение отходов — 0,11 [59]. Фактические издержки производства на заводе в Грантсе (шт. Нью-Мексико) производительностью 2,7 тыс. $m/сутки$ руды составили без учета федерального и местного подоходного налогов [60].

Год	Переработано руды, тыс. m	Среднее содержание U_3O_8 , %	Производство концентратов, $m U_3O_8$	Издержки производства		Цена, долл./ m
				долл./ m	долл./кг U_3O_8	
1964	501,9	0,208	1046,2	22,46	10,80	34,69
1965	569,7	0,191	1090,4	20,16	10,55	32,48
1966	569,3	0,204	1163,8	20,23	9,92	32,64

Среднегодовая загрузка функционируемых предприятий в 1967 г. по сравнению с 1966 г. осталась без изменений и составила $\sim 75\%$. Однако отдельные фирмы, имеющие низкие издержки производства и активно выступающие на коммерческом рынке, значительно повысили загрузку своих предприятий. Некоторые заводы со второй половины года работали уже на полную мощность.

Значительное расширение производства произошло в США. Здесь предполагалось закрыть в 1967 г. пять заводов по производству урановых концентратов [44]. Однако заключение контрактов на поставку горячего для АЭС позволило продолжить их эксплуатацию. Более того, мощность двух из них (в Фолс-Сити, шт. Техас, и в Эджмонте, шт. Южная Дакота) увеличилась с 635 до 1270 $m/сутки$ руды.

Завод в Ширли-Бэсин, принадлежащий «Гетти-ойл» и «Керр-Макджи-ойл», расширен в 1967 г. с 180 до 450 $m/сутки$ руды. В середине 1968 г. его мощность достигнет 910 $m/сутки$ руды при дополнительных затратах 1,5 млн. долл. [55, 56]. Оборудование законсервированного завода в Ривертоне (шт. Вайоминг) мощностью 450 $m/сутки$ руды будет переведено в Три-Риверс (шт. Техас) и мощность доведена до 1,8 тыс. $m/сутки$ руды [57]. Начинается строительство завода в Чёрч-Рок (шт. Нью-Мексико) производительностью 1,8 тыс. $m/сутки$ руды. Завод, стоимость строительства которого определена в 11,5 млн. долл., вступит в эксплуатацию в 1970 г. [58]. Изучаются возможности строительства других заводов.

Средняя закупочная цена КАЭ США на урановый концентрат, поставляемый американскими фирмами государству, в 1968/69 финансовом году составил 12,98 долл./кг U_3O_8 . Поскольку эта цена исчисляется на базе 85% издержек производства за 1963—1968 гг. плюс 3,52 долл./кг U_3O_8 , то средние издержки производства в США в указанный период должны составить 11,13 долл./кг U_3O_8 [61].

Очень высокий уровень деловой активности наблюдался и в урановой промышленности Канады. Фирма «Денисон майнз» увеличила расходы на модернизацию своего завода в Эллиот-Лейк с 1 млн. долл. в 1966 г. до 3 млн. долл. В 1967 г. и предполагает израсходовать в 1968 г. еще 3 млн. долл. [62]. Фирма «Рио Алгом майнз» приступила к расконсервации закрытого в 1960 г. завода «Квирк-1». Работы предполагается завершить в 1968 г., их стоимость — 3,5 млн. долл. [63]. Фирма «Консолидейтед канэдиен Фэрадей» ведет подготовительные работы по возобновлению эксплуатации завода в районе Бэнкрофт, предусматривая возможность расширения его мощности в 1969—1970 гг. в несколько раз (до 1820 $m/год U_3O_8$) [64]. В решающую стадию вступили переговоры между одной американской и группой японских фирм о строительстве завода мощностью 3 тыс. $m/год U_3O_8$ (около 50% современного производства в Канаде) в районе, расположенном севернее Эллиот-Лейк [65]. В районе Садберри, в 65 км восточнее Эллиот-Лейк, намечено построить к 1971 г. завод производительностью по переработке 3 тыс. $m/сутки$ руды с выходом порядка 600—800 $m/год U_3O_8$. Стоимость строительства (включая рудник) оце-

Количество и мощности предприятий по производству урановых концентратов в капиталистических странах [4, 5, 29, 36, 45, 48, 53, 54]

Таблица 4

Страна	Действующие предприятия				Сооружаемые и проектируемые предприятия		Общее число предприятий	Мощность, т/год U ₃ O ₈
	1960 г.	1965 г.	1967 г.	1968 г.	1965 г.	1968 г.		
США	24	20	16	16	—	2	28	19 000
ЮАР	17	8	6	7	—	1	17	7 000
Канада	17	4	4	4	—	2	19	16 000
Франция	5	5	5	5	—	—	5	1 600
Австралия	5	1	1	1	—	—	5	1 500
Габон ³	—	1	1	1	—	—	1	700
Испания	1	1	1	1	1	2	2	400
Португалия	1	1	1	1	—	—	1	200
ФРГ	1	1	1	1	—	—	1	300
Швеция	1 ⁴	—	1	1	1	—	2	130
Индия	1 ⁴	1 ⁴	1 ⁴	2	1	—	2	300
Аргентина ⁵	2	2	2	2	—	—	2	100
Италия ⁵	1	—	—	—	—	—	1	10
Япония ⁵	1	1	1	1	—	—	1	10
ОАР ⁵	—	1	1	1	—	—	1	10
Мексика ⁵	1	1	1	1	1	1	1	10
Бразилия ⁵	1	—	—	1	—	—	1	20
Нигер	—	—	—	—	—	1	—	—
Центрально-Африканская Республика	—	—	—	—	—	1	—	—
Малагасийская Республика	1	1	—	—	—	—	1	160
Конго (Киншаса)	1	—	—	—	—	—	1	2 500
Финляндия ⁴	1	—	—	—	—	—	1	50
Замбия ⁴	1	—	—	—	—	—	1	50
Всего ⁶	83	49	44	46	4	10	94	50 050
Суммарная мощность тыс. т/год U ₃ O ₈	44	25	24	25	—	—	—	—

1 Включая закрытые и сооружаемые, но без проектируемых.
 2 Оценка.
 3 Производятся низкосортные концентраты (35 — 40% U₃O₈), подвергающиеся дальнейшей переработке во Франции.
 4 Полупромышленная установка.
 5 Опытная установка.
 6 На начало года.

нивается в 33,2 млн. долл. Эксплуатационные расходы оцениваются в 7,5 долл./т руды. Помимо урана предполагается извлекать иттрий.

В ЮАР фирма «Буффельфонтейн» увеличила производительность своего завода по производству урановых концентратов с 200 до 250 тыс. т/месяц руды, а фирма «Хартбистфонтейн» — с 175 до 225 тыс. т/месяц руды. В июле 1967 г. возобновил работу завод «Ваал Рифс» производительностью 100 тыс. т/месяц руды, а завод «Хармони голд майнинг» после перестройки вновь достиг проектной производительности 175 тыс. т/месяц руды [48, 66].

Отмечались успехи в усовершенствовании процессов переработки руды и производства урановых соединений высокой чистоты. Полагают, что теперь стало возможным экономично извлекать уран из руды, содержащей менее 0,01% U₃O₈, включая процесс комби-

нированного выщелачивания золото-урановых руд [67]. Стандартный урановый концентрат содержит 85—90% U₃O₈. В 1963 г. фирма «Буффельфонтейн» пустила экспериментальную установку по производству концентратов, содержащих 99,9% U₃O₈. Прошел испытания процесс («бафлекс процесс»), позволяющий при незначительной модернизации имеющегося оборудования получать концентрат очень высокой чистоты, что снижает затраты, связанные с его переработкой в UF₆ и другие химические соединения урана. Фирма «Хармони голд майнинг» освоила в промышленных масштабах технологию изготовления концентратов высокой чистоты при одновременном снижении издержек производства [68].

Завод в Ранстаде (Швеция) мощностью 125 т/год U₃O₈ с осени 1966 г. работает на ~40% мощности, хотя издержки производства составляют 28—32 долл./кг

U_3O_8 , что в 2 раза превышает современную мировую цену [69].

В июле 1967 г. возобновлена эксплуатация экспериментального предприятия в Сан-Паулу (Бразилия) по извлечению урана из руды, добываемой в Покус-де-Кальдас [70].

Принято решение о строительстве завода по производству урановых концентратов, содержащих 70—80% U_3O_8 , в Арлите (Нигер). Ввод в эксплуатацию первой очереди (200 т/год U_3O_8) намечен на 1970 г., выход на полную мощность (1000 т/год U_3O_8) — на 1973 г. [29].

Продолжалось изучение возможности строительства завода по производству урановых концентратов в Центрально-Африканской Республике. Однако пока не найдено экономичного способа переработки урановых руд в районе Бакума, что задерживает принятие окончательного решения об освоении этого месторождения [4].

На заводе в Ургейсера (Португалия) мощностью 125 т/год U_3O_8 по состоянию на середину 1967 г. переработано ~600 тыс. т руды и извлечено ~1500 т U_3O_8 в концентрат, содержащий 15—20% U_3O_8 (извлечение — 94,6% U_3O_8 , отвалы — 0,011% U_3O_8). В конце 1967 г. завод реконструировался для производства (начиная с 1969 г. или 1970 г.) концентратов с 80% U_3O_8 [71].

Цена на урановые концентраты на «свободном» рынке возросла с ~13,2 долл/кг U_3O_8 в начале 1967 г. (с поставкой в 1969—1970 гг.) до ~16,5 долл/кг U_3O_8 в начале 1968 г. (с поставкой в 1971—1973 гг.).

В. Д. АНДРЕЕВ

ЛИТЕРАТУРА

- US AEC. Rules and regulations. Suppl. No. 27. Washington, December 12, 1967, p. 291.
- Proc. of the Third Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. New York, 1965, vol. 12, p. 14.
- Europ. Nucl. Energy Agency and Intern. Atomic Energy Agency. Uranium resources. Revised estimates. Paris — Vienna, December, 1967, 25 p.
- Commissariat a l'energie atomique. Rapport annuel, 1966. Paris, 1967, p. 118.
- «Атомная энергия», 23, 263 (1967); Mineral Trade Notes, 64, 14 (1967).
- Nucleonics Week, 9, 8 (1968).
- Power Engng, 71, 76 (1967); Atomic Energy Clearing House, 14, 7 (1968); Mining J., 268, 196 (1967).
- Metal Bull., No. 5271, 24 (1968).
- Mines Mag., 57, 44 (1967).
- Engng and Mining J., 169, 13 (1968).
- Appl. Atomic, No. 622, 4 (1967).
- Nucleonics Week, 8, 4 (1967).
- Nucleonics Week, 8, 5 (1967).
- Nucl. Ind., 15, 29 (1968).
- Engng and Mining J., 169, 138 (1968).
- Nucleonics Week, 8, 3 (1967).
- Canadian Mining J., 88, 23 (1967).
- US AEC. Release from 22 August 1967. Washington, p. 2.
- Engng and Mining J., 168, 219 (1967).
- Metall, 22, 74 (1968).
- Engng and Mining J., 168, 92 (1967).
- North. Miner, 30, November, 19 (1967).
- North. Miner, 53, 4 (1968).
- Neue Technik, 9, 1 (1967).
- North. Miner, 53, 3 (1968).
- North. Miner, 53, 13 (1967); 53, 1 (1967).
- Mineral Trade Notes, 64, 40 (1967); Mining J., 268, 499 (1967).
- Financial Times, April 25, 1967, p. 8.
- Mines Mag., 118, 4 (1968).
- Appl. Atomic, No. 642, 10 (1968).
- Appl. Atomic, No. 620, 4 (1967).
- Industriekurier, 19 Dezember, 10 (1967); 25 Januar, 9 (1968); Nucl. Engng, 12, 889 (1967).
- Nucleonics Week, 8, 8 (1967).
- Atomwirtschaft, 13, 67 (1968); Appl. Atomic, No. 644, 2 (1968); No. 607, 3 (1967).
- Metal Bull., No. 5273, 26 (1968).
- Government of India. Department of Atomic Energy. Annual report for 1966—1967. Bombay, 1967, p. 66.
- Nucl. Engng, 12, 422 (1967).
- Нихон корё симбун (японск.), No. 6818, 10 (1967).
- Electr. World, 5, June, 12 (1967); Mining J., 269, 232 (1967).
- Nucl. News, 10, 19 (1967).
- Mining J., 269, 210 (1967).
- Mineral Trade Notes, 64, 41 (1967).
- Appl. Atomic, No. 616, 9 (1967).
- Minerals Yearbook 1965. Vol. I, Washington, 1966, p. 973.
- Nucl. News, 11, 32 (1968).
- Mining J., 268, 485 (1967).
- Nucl. Industry, 15, 29 (1968).
- Mining J., 26 January, 24 (1968) (Supplement).
- Financial Times, 13 October, 12 (1967).
- Engng and Mining J., 168, 143 (1967).
- North. Miner, 53, 3 (1968); Appl. Atomic, No. 650, 7 (1968).
- Ann. Mines, Juillet. Aout, 19, 131, 153 (1967).
- Minerals Yearbook 1965, Vol. IV. Washington, 1966, p. 141, 611, 910, 1242.
- Chem. Week, 102, 45 (1968); Nucl. Ind., 15, 16 (1968); Engng and Mining J., 169, 111 (1968); Financial Times, 14 July, 3 (1967); Appl. Atomic, No. 616, 4 (1967); L'Usine nouvelle, 8 fevrier 1968, p. 28; Mining J., 269, 25 (1967); Mineral Trade Notes, 64, 41 (1967).
- Engng and Mining J., 168, 138 (1967).
- Mining Congress J., 53, 98 (1967).
- Engng and Mining J., 168, 140 (1967).
- Nucl. Ind., 15, 16 (1968).
- Electr. World, 167, 93 (1967).
- Atomic Energy Clearing House, 12, 5 (1967).
- Appl. Atomic, No. 644, 10 (1968).
- Barron's, 48, 8 (1967).
- North. Miner, 53, 57 (1967).
- North. Miner, 53, 17 (1967).
- Chem. Week, 102, 45 (1968); Financial Times, 14 July, 3 (1967).
- Mineral Trade Notes, 64, 41 (1967).
- Mining J., 28 July, 20 (1967) (Supplement).
- Financial Times, 14 November, 10 (1967).
- Atomwirtschaft, 12, 554 (1967).
- Mineral Trade Notes, 65, 36 (1968).
- Nucl. News, 10, 52 (1967).