

# ГОРНОЕ ДЕЛО

---

---

МРНТИ 52.31.61

*А. Балтабаев<sup>1</sup>, Е. Тилеуберди<sup>1</sup>, Е.К. Онгарбаев<sup>1</sup>, З.А. Мансуров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

## УРАН – ПЕРСПЕКТИВЫ СЫРЬЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

---

---

**Аннотация.** В работе рассмотрен феномен урана - одного из элементов периодической системы, положившего начало становлению новейших отраслей науки и техники от создания атомного оружия массового уничтожения до атомной энергетики. Описаны физические, ядерные и химические свойства урана и его наиболее важные соединения, а также методы добычи, применение в военных и гражданских целях, перспективы атомной энергетики на уранплутониевом топливном цикле. Казахстан обладает большими запасами урановых месторождений, где при добычи 1,5 млн. т руды 1,3 тонны пригодны для извлечения методом скважинно-подземного выщелачивания. По добыче урана Казахстан стоит на одном из первых мест в мире.

**Ключевые слова:** уран, урановый рудник, добыча урана, метод выщелачивания, ядерная энергетика, урансодержащая руда.

• • •

**Түйіндеме.** Бұл жұмыста периодтық жүйедегі элементтердің бірі – жаппай қырып-жоюдың атом қаруынан бастап, бейбіт мақсаттағы атом энергетикасын жасауға дейін ғылым мен техниканың жаңа салаларының құрылуына алып келген уран феноменін қарастырамыз. Уран элементінің физикалық, химиялық және ядролық қасиеттері сипатталған және оның ең маңызды қосылыстары, сондай-ақ уран өндіру әдістері, әскери және азаматтық мақсаттарда уранды пайдалану және ядролық энергетиканың уранплутонилық отын циклының болашағы қаралған. Қазақстанда уранның үлкен қоры бар. Елдегі уран кен орындары қоры 1,5 млн тоннаны құрайды, ал ұңғымалық жерасты шаймалауға жарамдысы – 1,3 тонна. Қазақстан уран өндіруде әлемде бірінші орындағы мемлекеттердің қатарында тұр.

**Түйін сөздер:** Уран, уран кен ошағы, уран өндіру, шаймалау әдісі, ядролық энергетика, құрамында ураны бар кен.

**Abstract.** The article considers the phenomenon of uranium - one of the elements of the periodic system, which initiated the formation of the newest branches of science and technology from the creation of atomic weapons of mass destruction to nuclear power. The physical, nuclear and chemical properties of the uranium element and its most important compounds are described, as well as methods of extraction, use in military and civil purposes, and prospects for nuclear power engineering on the uranium-plutonium fuel cycle. Kazakhstan possesses large reserves of uranium deposits, where at extraction of 1.5 million tons of ore, 1.3 tons are suitable for extraction by the method of borehole-underground leaching. In terms of uranium mining, Kazakhstan stands at one of the first places in the world.

**Key words:** uranium, uranium mine, uranium mining, leaching method, nuclear power, uranium-containing ore.

**Введение.** Необходимым условием развития и технического прогресса общества является обеспеченность его тепло- и электро-энергией. Получение энергии – древняя проблема, которая многие тысячелетия имела единственное решение – сжигание энергоемкого сырья, т.е. топлива (древесины, торфа, нефти, газа, угля, горючих сланцев). Так продолжалось до открытия способности ядер урана к распаду под действием бомбардировки нейтронами и создания первого ядерного реактора на его основе.

Уран используется как эффективное ядерное топливо или взрывчатое ядерное вещество огромной силы. Это наложило особый отпечаток на химию и технологию производства металлического урана и его соединений [1]. В настоящее время уран является основным элементом, применяемым в качестве ядерного топлива. Получение урана – это довольно сложный химико-металлургический комплекс операций.

Уран – один из самых загадочных элементов, существующих в природе. Его историю можно назвать «историей ошибок и загадок». С самого открытия он окружен «таинственным ореолом неуловимости». Вместе с тем, его история тесно переплелась с историей развития науки. Впервые об уране услышали в 1789 году. Немецкий химик и философ Мартин Герман Клапрот установил, что желтая саксонская смоляная руда, которую до этого считали вольфрамом железа, на самом деле содержит новый неизвестный элемент. Клапрот назвал его Ураном в честь незадолго до этого (в 1781 г.) открытой самой

удаленной от Солнца планеты. Прокалив желтую смоляную руду с углем, он получил черное вещество. Из-за наличия характерного металлического блеска Клапрот считал, что это и есть открытый им новый элемент – уран. На протяжении последующих 50-ти лет все так и принимали это вещество за уран.

Только в 1841 француз Эжен Пелиго доказал, что полученное Клапротом вещество не металл, а оксид урана  $UO_2$ . Ему же удалось получить настоящий металлический уран восстановлением тетрахлорида урана  $UCl_4$  металлическим калием. Таким образом, Эжен Пелиго может считаться родоначальником современной химии урана [2-3].

#### **Физические свойства урана.**

Уран – плотный ( $19,12 \text{ г/см}^3$  при  $20^\circ\text{C}$ ), серебристо-белый металл с умеренной температурой плавления ( $1132^\circ\text{C}$ ). По электропроводности, которая приблизительно равна электропроводности железа, он занимает промежуточное значение между истинными металлами (серебро, медь) и полуметаллами (мышьяк, висмут).

С точки зрения энергетики, одной из важнейших характеристик урана является теплопроводность. Она относительно низкая: в 2 раза меньше чем у железа и в 13 раз меньше чем у меди. Низкая теплопроводность может способствовать высокому перепаду температур между стенкой и сердечником ТВЭЛа и вызывать высокие внутренние напряжения. В зависимости от температуры, уран может существовать в одной из трех кристаллических модификаций. При комнатной температуре устойчива  $\alpha$ -фаза, которая состоит из гофрированных параллельных атомных слоев. В пределах слоев атомы тесно связаны между собой, в то время как прочность связи между отдельными слоями значительно меньше. Это приводит к значительной хрупкости  $\alpha$ -фазы.

В интервале температур  $668\text{--}775^\circ\text{C}$  устойчива  $\beta$ -фаза, которая имеет слоистую плоскопараллельную структуру;  $\beta$ -фаза тверже и значительно более довольно хрупкая по сравнению с  $\alpha$ -фазой.

При температурах  $775\text{--}1133^\circ\text{C}$  существует  $\gamma$ -уран. Эта фаза имеет кубическую объемноцентрированную решетку, что придает ей значительно большую пластичность.

Фазовые переходы  $\alpha$ -уран  $\rightarrow$   $\beta$ -уран  $\rightarrow$   $\gamma$ -уран сопровождаются снижением плотности, соответственно  $19,12 \rightarrow 18,11 \rightarrow 18,06 \text{ г/см}^3$ .

Плотность жидкого урана при температуре плавления составляет 16,63 г/см<sup>3</sup>.

Стабилизировать пластичную  $\gamma$ -фазу можно, добавляя в расплав различные легирующие добавки. Наибольшее распространение среди легирующих добавок получил молибден, образующий с  $\gamma$ -ураном твердые растворы.

Изделия из урана в ядерных реакторах в течение длительного времени находятся в жестких условиях при повышенных температурах. Под действием коррозии, радиации, в результате термических напряжений происходит изменение механической прочности конструкции ТВЭЛов. Этому способствуют следующие процессы:

- большой рост ползучести облученного урана даже под ничтожной нагрузкой, в том числе под действием собственного веса;
- «охрупчивание» облученного урана, не снимаемое даже отжигом;
- «радиационный рост» урана, приводящий к изменению формы ТВЭЛа в процессе работы реактора: по мере выгорания урана его плотность уменьшается, накапливаются более легкие продукты деления (увеличивается объем);
- при больших выгораниях и высоких температурах развивается газовое распухание (свеллинг) под действием газообразных продуктов деления урана (аргон, криптон).

По этим причинам чистый металлический уран в качестве ТВЭЛов не применяется. Для этого используются его сплавы с цирконием, алюминием, молибденом и др. [2]

### **Химические свойства металлического урана**

Уран (U) – химический элемент группы актиноидов (второго интерпериодического узла) Периодической системы Д.И. Менделеева. Атомная масса урана равна 238,029.

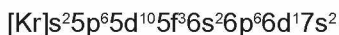
Уран занимает 92-ю клетку в периодической системе Д.И. Менделеева, это означает, что каждый атом нейтрального урана содержит 92 электрона, которые располагаются на 7 электронных слоях (уровнях).



Электронная формула урана следующая:



Четыре первых электронных слоя являются завершенными, что соответствует электронной конфигурации криптона. Электронную формулу урана, следовательно, можно записать:



Электроны незавершенных уровней в невозбужденном состоянии располагаются по квантовым ячейкам (рис. 1)

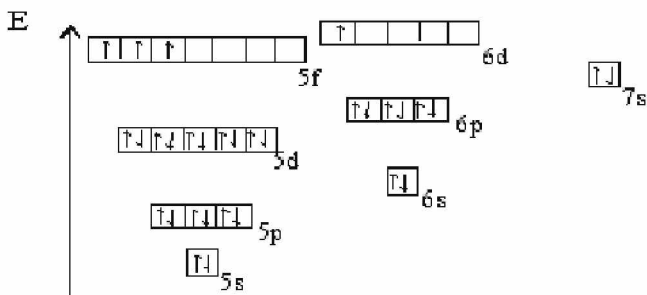


Рис.1 Расположение электронов по квантовым ячейкам [4]

Наличие семи электронных слоев в атоме урана приводит к его большому атомному радиусу, равному 1,54 ангстрем (Å). Связь между ядром и электронами внешних слоев при увеличении радиуса атома по закону Кулона быстро ослабляется. Кроме того, наличие большого числа электронов на заполненных уровнях в результате экранирования еще больше ослабляет (разрыхляет) связь внешних электронов и ядра атома урана. Это приводит к тому, что внешние электроны ( $5f^3 6d^1 7s^2$ ) могут очень легко отрываться от ядра. Способность отдавать электроны определяет восстановительные свойства элемента и его химическую активность. Поэтому уран – чрезвычайно активный металл, у которого очень выражены восстановительные свойства. Он может взаимодействовать практически со всеми элементами, кроме благородных газов, приобретая при этом степени окисления +2, +3, +4, +5, +6. Из них стабильными при нормальных условиях являются состояния со степенями окисления +4 и +6.

Рассмотрим некоторые наиболее важные химические реакции металлического урана [4].

**Ядерные свойства урана**

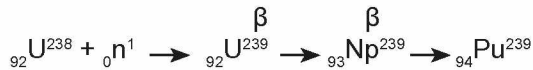
Уран в природных минералах представлен смесью трех изотопов:  $U^{238}$ ,  $U^{235}$  и  $U^{234}$ . Характеристики природных изотопов урана приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Некоторые характеристики природных изотопов урана**

| Изотоп    | Вид излучения | Энергия излучения, МэВ | Период полураспада $T_{1/2}$ , лет | Содержание в природной смеси, % |
|-----------|---------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| $U^{234}$ | $\alpha$      | 4,76                   | 2,35Ч                              | 0,006                           |
| $U^{235}$ | $\alpha$      | 4,52                   | 7,07Ч                              | 0,714                           |
| $U^{238}$ | $\alpha$      | 4,21                   | 4,51Ч                              | 99,28                           |

Наиболее долгоживущим и распространенным изотопом является  $U^{238}$  с периодом полураспада  $4,51 \cdot 10^9$  лет. Содержание его в природном уране составляет 99,28 %.  $U^{238}$  способен делиться на быстрых нейтронах с энергией  $> 1$  МэВ. Медленные нейтроны им захватываются, что используется для синтеза плутония по схеме:

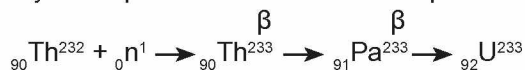


Особое значение имеет природный изотоп  $U^{235}$ . Содержание его в природной смеси составляет 0,72%. Период полураспада составляет  $7,07 \cdot 10^8$  лет. Его особенностью является способность делиться под действием медленных (тепловых) нейтронов, обладающих энергией менее 1 МэВ, с выделением огромного количества энергии. При делении 1 кг  $U^{235}$  выделяется  $2 \cdot 10^7$  кВт ч энергии, что эквивалентно взрыву 20 тыс. т тротила. При делении одного ядра  $U^{235}$  освобождается в среднем 2,5 тепловых нейтронов, что приводит к возникновению цепной реакции. Избыток тепловых нейтронов, освобождающихся при

распаде  $U^{235}$ , можно использовать для синтеза  $Pu^{239}$  из природного  $U^{238}$ . Параллельно с делением ядер  $U^{235}$  под действием медленных нейтронов протекает процесс захвата нейтронов с образованием  $U^{236}$ . Из 645 барн. (1 барн. =  $10^{-24}$  см<sup>2</sup>) общего эффективного сечения  $U^{235}$  100 барн. приходится на процесс захвата нейтрона и 545 барн. на процесс деления ядра.

Третий природный изотоп  $U^{234}$  является продуктом распада  $U^{238}$ . Период его полураспада  $2,35 \cdot 10^5$  лет, а содержание в природном уране - 0,006%. В связи с малой распространенностью изотоп  $U^{234}$  практического значения в настоящее время не имеет.

Кроме трех естественных изотопов, в настоящее время получено 14 искусственных с массовыми числами, лежащими в интервале 226-242. Наибольшее значение из них имеет  $U^{233}$  с периодом полураспада  $1,6 \cdot 10^5$  лет и  $U^{239}$  с периодом полураспада 23,5 мин. Изотоп  $U^{233}$  получают, облучая торий-232 тепловыми нейтронами по схеме:



Его особенностью является способность к делению при взаимодействии с медленными нейтронами. Эффективное сечение деления  $U^{233}$  составляет 525 барн., т.е. почти такое же, как у  $U^{235}$ .

Изотоп  $U^{239}$  используют как промежуточный продукт синтеза  $Pu^{239}$ . Искусственные изотопы  $U^{237}$  ( $T_{1/2} = 6,75$  сут.) и  $U^{232}$  ( $T_{1/2} = 68,9$  лет) нашли широкое применение в физических и химических исследованиях в качестве радиоактивных меток (индикаторов) [3].

**Применение урана.** Наиболее важная область применения урана - его использование в ядерной энергетике в качестве делящегося материала. В других сферах используется способность урана задерживать ионизирующие излучения, особые механические, электрические и оптические свойства.

В развитых странах производство урана в основном направлено на генерацию делящихся нуклидов ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) - топлива промышленных реакторов, предназначенных для наработки как оружейных нуклидов, так и компонентов ядерного оружия (атомные бомбы и снаряды стратегического и тактического назначения, нейтронные бомбы, триггеры водородных бомб и т.д.). В атомной бомбе концентрация  $^{235}\text{U}$  превышает 75%. В остальных странах мира металли-

ческий уран или его соединения используются в качестве ядерного горючего в энергетических и исследовательских ядерных реакторах. Природная или малообогащённая смесь изотопов урана применяется в стационарных реакторах атомных электростанций, продукт высокой степени обогащения - в ядерных силовых установках (источниках тепловой, электрической и механической энергии, излучения или света) или в реакторах, работающих на быстрых нейтронах, где часто используют металлический уран, легированный и нелегированный. Однако в некоторых типах реакторов применяют горючее в форме твердых соединений (например,  $UO_2$ ), а также водных соединений урана или жидкого сплава урана с другим металлом. Основное применение элемента - производство ядерного топлива для АЭС. Для ядерного реактора с водой, под давлением установленной мощностью 1400 МВт требуется в год 225 т природного урана для изготовления 50 новых топливных элементов, которые обмениваются на соответствующее число использованных ТВЭЛов. Для загрузки реактора необходимо около 130 т ЕРР (единица работы разделения) и затраты в 40 млн. долл. в год. Концентрация урана-235 в топливе для атомного реактора составляет 2-5%. По-прежнему определённый интерес урановые руды представляют с точки зрения извлечения из них радия (содержание которого примерно 1 г на 3 т руды) и некоторых других природных радионуклидов. Урановые соединения применяются в стекольной промышленности, для окраски стёкол в красный или зелёный цвет, или придания им красивого зеленовато-жёлтого оттенка. Используют их и в производстве флуоресцентных стёкол для придания стеклу красивого жёлто-зелёного оттенка.

Появление уранового стекла приравнивают по крайней мере к 79 году н.э., которым датируют мозаику, найденную на римской вилле на мысе Посиллипо в Неаполитанском заливе (Италия) и содержащей жёлтое стекло с 1 % содержанием оксида урана. Начиная с конца Средних веков настуран (уранит) начал добываться из серебряных рудников Яхимталле (Яхимов) в Богемии и был использован как краситель в местном стекольном производстве. Вскоре после открытия радия, его стали широко применять в светосоставах (красках), придающих постоянное свечение стрелкам и цифрам часов, авиационным приборам, ёлочным игрушкам и т.п. Это потребовало переработки огромного количества урановых руд, в результате чего



скопилось большое количество отвального урана (для наработки 1 г радия требуется переработка 3-х т урановой руды). Дешёвый и никому не нужный уран придал второе дыхание стекольной промышленности. Помимо зелёного бутылочного стекла промышленность стала выпускать плитки из уранового стекла для отделки кухонь и ванных комнат [5].

**Уран в природе.** Элемент широко распространен почти повсеместно. В довольно значительных концентрациях он обнаружен во многих горных породах, в океанах и морях, лунном грунте, в метеоритах. Такое присутствие урана объясняется высокой химической активностью, хорошей растворимостью его солей, способностью принимать участие в разнообразных химических реакциях и образовывать соединения со многими другими элементами. Среднее содержание урана в земной коре составляет  $(2-4) \cdot 10^{-4}\%$ , т.е. в 1 т содержится около 3 г урана. Содержание его в мантии земли примерно 10-6%. По распространенности уран опережает такие известные элементы как серебро (Ag), кадмий (Cd), ртуть (Hg), висмут (Bi). Всего в относительно тонком 20-ти км слое земной коры содержится около 1014 т урана. В различных породах земной коры содержание урана неодинаково. Более богаты ураном кислые изверженные породы с высоким содержанием кремнезема SiO<sub>2</sub>. В тонне гранита содержится до 25 г урана. Полная энергия этих 25 г эквивалентна по теплосодержанию 125 т каменного угля. Энергия всего земного урана оценивается астрономической цифрой в  $2 \cdot 10^{24}$  кВт·ч. Это в миллионы раз больше, чем могут дать все горючие ископаемые [6-7].

***Важнейшие минералы и руды урана.***

В настоящее время известно около 150 минералов, включающих уран как основной компонент, и еще около 50 других минералов, содержащих его незначительные количества в качестве примесей. Урановые минералы можно разделить на две большие группы - первичные и вторичные.

Первичными называются минералы, образовавшиеся при формировании земной коры (как правило, магматического происхождения). Вторичные минералы - те, которые образовались на более поздних стадиях под действием природных факторов.

Основными минералами как первичных, так и вторичных месторождений являются уранинит и настуран. Уранинит - содержит уран

в виде оксида урана (IV) и имеет формулу  $UO_2$ , хотя практически всегда содержит некоторое количество оксида урана (VI)  $UO_3$ . Цвет минерала - черный; плотность 7,6-10 г/см<sup>3</sup> содержание урана 62-95%. В кислотах растворяется с трудом, лучше всего в концентрированной соляной и азотной кислотах, в серной кислоте - в присутствии окислителя.

Настуран (урановая смолка, смоляная обманка). Обычно минералу приписывают формулу  $U_3O_8$ , его состав переменен и более точная формула отвечает составу  $xUO_2 \cdot yUO_3 \cdot zPbO$ . «Обманкой» минерал называют за то, что он меняет цвет от черного до светло-серого, а смолкой - за то, что его зерна похожи на капли застывшей смолы. Плотность настурана составляет 4,5-7,7 г/см<sup>3</sup>, содержание урана в нем 66-85%. Как и уранинит, в кислотах настуран растворяется также с трудом: лучше всего в концентрированной соляной и азотной кислотах, в серной кислоте в присутствии окислителя.

Во вторичных месторождениях, наряду с уранинитом и настураном, часто встречаются гидратированные оксиды и соли урана - сульфаты, силикаты, фосфаты и др. Наибольшее практическое значение из них имеют: отенит - желто-зеленый гидратированный уранилфосфат кальция ( $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ ), карнотит - желтый уранилванадат калия ( $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ) и коффинит - гидратированный силикат урана (IV) ( $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$ ) черного цвета.

При существующих мировых ценах экономически рентабельна разработка месторождений с содержанием > 0,1% урана. Свыше 90% известных дешевых резервных месторождений находятся на территории Австралии, Канады, ЮАР, США, Франции. Два месторождения конгломератных пород охватывают ~ 50-60% запасов этих стран. К ним относится месторождение в районе оз. Эллиот, расположенное на севере от оз. Гурон в Канаде, и золоторудные поля Ранда в ЮАР. Дополнительно от трети до четверти мировых запасов расположено в западных штатах США в виде отложений песчаника, основные массы которых распределены примерно поровну между плато Колорадо и бассейном Вайоминг и широко рассеяны по этим регионам. Важные залежи жильного типа расположены в Заире (ранее Бельгийское Конго), Канаде и в США [5, 8-9].

**Добыча урана.** Общая добыча урана в мире за период 2008-2010 гг. увеличилась более чем на 25%, благодаря значительно воз-

росшей добыче в Казахстане, являющимся в настоящее время ведущим производителем урана в мире (табл.2).

Таблица 2

**Оценка мировых ресурсов урана (по состоянию на 1990 г.)**

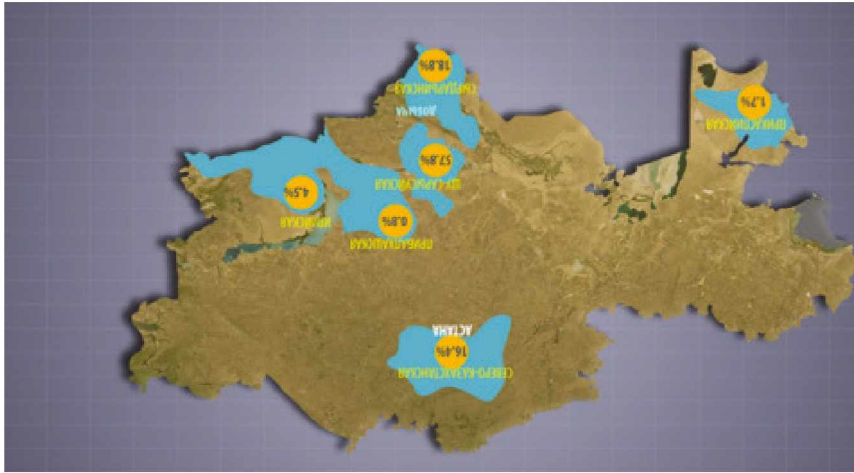
| Страна       | Разведанные месторождения урана, тыс. т $U_3O_8$ | Доля от общих запасов, % |
|--------------|--|--------------------------|
| Австралия    | 889  | 27                       |
| Казахстан    | 558  | 17                       |
| Канада       | 511  | 15                       |
| ЮАР          | 354  | 11                       |
| Намибия      | 256  | 8                        |
| Бразилия     | 232  | 7                        |
| Россия       | 157  | 5                        |
| США          | 125  | 4                        |
| Узбекистан   | 125  | 4                        |
| Всего в мире | 3340   | 100                      |

Добыча урана в мире составила 54 670 тU в 2010 г., что соответствует увеличению на 6% по сравнению с 51 526 тU, произведенных в 2009 г., и увеличению на 25% по сравнению со скорректированными цифрами общего объема произведенного урана на 2008 г., составившего 43 758 тU. Всего в 2010 г. показатели производства урана предоставили 22 страны, то есть на 2 больше, чем в 2008 г. В 2009 г. производство урана началось в Малави, а Германия возобновила извлечение урана в рамках работ по улучшению экологического состояния старых урановых рудников. КНР впервые опубликовала сведения об объемах производства урана, а Узбекистан предоставил информацию о добыче в первый раз с 2005 г. Глобальное увеличение производства в 2008-2010 гг. было обусловлено в основном значительно возросшим объемом производства в Казахстане (109%). Менее значительные показатели роста были зарегистрированы в Канаде, Китае, Индии, Намибии, Нигере, США и Узбекистане. В 2008–2010 гг. во многих странах (включая Австралию и Бразилию) было отмечено снижение производства урана в результате сочетания таких факторов, как более низкое, по сравнению с ожидаемым, содержание урана в руде, технические трудности и подготовка к расширению эксплуатации рудников.

Добыча урана методом подземного выщелачивания составила в 2010 г. 39% от общего объема мирового производства, быстро заняв место основного горнодобывающего процесса, главным образом благодаря значительному расширению использования этой технологии в Казахстане. Остальные доли приходятся на разработку месторождений подземным (32%) и открытым (23%) способами, а также на извлечение урана в качестве сопутствующего и побочного продукта при добыче меди и золота (6%). Как ожидается, общее мировое производство урана увеличится на 5% и достигнет более 57 000 тУ, с продолжающимся, но менее быстрым увеличением добычи в Казахстане и ожидаемым ростом в Австралии и Узбекистане [10-11].

**Добыча урана в Казахстане.** Казахстан находится на 3-м месте в мире по запасам урана и по данным на 2009 г. здесь сосредоточен 21% от общемировых объемов. Общие ресурсы урана порядка 1,5 млн т, из них около 1,1 млн т можно добывать методом подземного выщелачивания. В 2009 г. Казахстан вышел на первое место в мире по добыче урана (добыто 13 500 т) опередив Канаду, которая оказалась на втором месте. В 2013 г. планировалось добыть 20 тыс. т [12].

Большинство месторождений в Казахстане расположены в 6-ти ураново-рудных провинциях. Шу-Сарысуйская, Сырдарьинская, Северо-Казахстанская, Прикаспийская, Прибалхашская, Илисская (рис.2).



Урановые провинции

Рис. 2. Запасы урана в Казахстане [17]

Объем запасов и ресурсов природного урана в РК – 1 743 тыс. тU, в том числе:

- категории  $C_1+C_2$  – 943 тыс. тU

- категории  $P_1+P_2$  – 800 тыс. тU

Около двух десятков месторождений песчаникового промышленного типа размещены в основном в восточной части Туранской плиты, во впадинах Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской. Они контролируются региональными фронтами пластового окисления в меловых и палеогеновых водоносных горизонтах. Шу-сарысуйская и Сырдарьинская провинции вместе составляют Восточно-Туранскую мегапровинцию, которая является одной из крупнейшей в мире провинцией по запасам урана. Основная часть мегапровинции расположена в Южно-Казахстанской и Кызылординской областях, а северная часть, включающая небольшое по запасам и площади месторождение Жетыконур, располагается в Карагандинской области. На данной территории находятся некоторые непромышленные месторождения других геологических типов, таких, как седиментационно-диагенетические, урано-молибдено-ванадиевые, полигенное Улутауское месторождение и др. Ураноносность Западно-Казахстанского региона характеризуется Прикаспийской провинцией сорбобиогенных месторождений и несколькими объектами экзодиагенетического грунтово-инфильтрационного типа, в то время как в Северном Казахстане находятся в основном гидротермальные месторождения, которые добываются горным способом (карьеры). Также некоторые формации Северного Торгая и Петропавловско-Прииртышского обрамления образуют часть Курган-Павлодарского ураноносного пояса. Из вышесказанного можно заметить, что урановую минерально-сырьевую базу Казахстана составляют, прежде всего, пластово-инфильтрационные месторождения расположенные в Восточно-Туранской мега провинции [13, 14].

В Республике Казахстан лидирующим предприятием по добыче и переработке, экспорту и импорту урана и его соединений, поставке топлива и специального оборудования для атомных энергетических станций, является «Казатомпром».

На сегодняшний день в стране действует 20 рудников добывающих уран методом подземного выщелачивания (ПВ). Ниже приведена динамика добычи урана методом ПВ (рис.3). [15].



Рис.3. Динамика добычи урана методом ПВ в РК

### **Технология подземно-скважинного выщелачивания урана**

Метод подземного скважинного выщелачивания (ПВ), используемый в «Казатомпром» для добычи урана, оказывает минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, что подтверждено многолетними исследованиями. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) признает данную технологию как самый экологически чистый и безопасный способ обработки месторождений.

Подземное скважинное выщелачивание является способом разработки рудных месторождений песчаникового типа без поднятия руды на поверхность путем избирательного перевода ионов природного урана в продуктивный раствор непосредственно в недрах. При этом урансодержащая руда остается под землей в отличие от традиционных методов добычи (шахтный и карьерный), требующих значительных затрат на рекультивацию, в связи с чем данный метод ПВ отличается высокой экологической безопасностью, низкими затратами и упрощенностью технологических операций (рис.4).

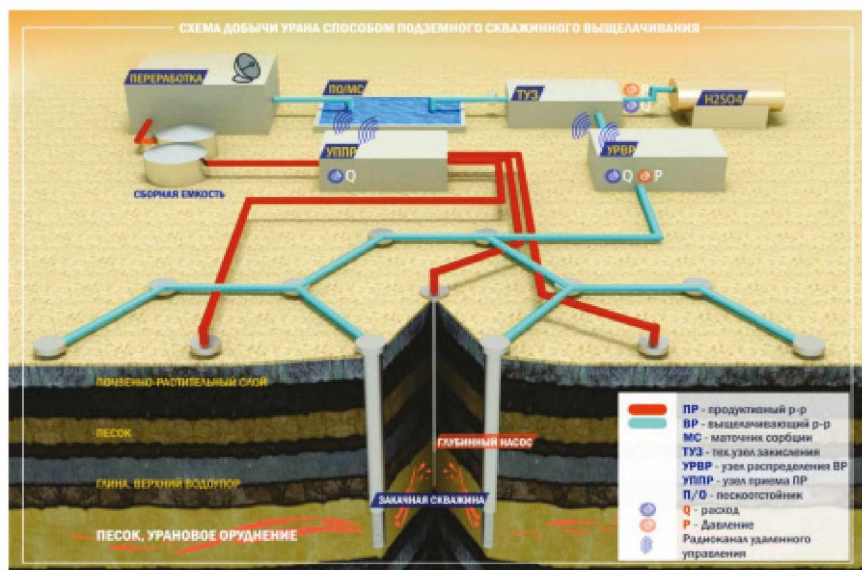


Рис.4. Технология подземно-скважинного выщелачивания урана [17]

Метод ПВ – это процесс замкнутого цикла, включающий в себя следующие основные стадии:

1. Бурение скважин, установка технического оборудования и сооружение технологического полигона;
2. Подача через закачные скважины раствора серной кислоты слабой концентрации в рудоносный горизонт;
3. Основной процесс выщелачивания происходит под землёй, где уран переходит в так называемый продуктивный раствор;
4. Продуктивный раствор поднимается на поверхность и проходит процесс сорбции и десорбции в ионообменных колоннах. Затем из товарного десорбата происходит осаждение и сушка урана до получения желтого кека;
5. Желтый кек перерабатывается в закись-окись урана на одном из трех аффинажных заводах;
6. В будущем, все уранодобывающие предприятия планируют выпускать конечный продукт в виде уранового концентрата качества ASTM на местах добычи.

Рудник ПВ, с перерабатывающим комплексом, к примеру, на 500 т природного урана в год, уместился бы на четверти типичного гидрометаллургического завода такой же мощности. В отличие от добычи урана карьерным или шахтным методом при разработке месторождения методом ПВ отпадает необходимость строительства хвостохранилищ для хранения отходов с высоким уровнем радиации.

Однозначно установлено, что природная гидрогеохимическая среда на урановых месторождениях Южного Казахстана обладает уникальной способностью к самовосстановлению от техногенного воздействия. За счет постепенного восстановления естественных окислительно-восстановительных условий происходит хоть и медленный, но необратимый процесс рекультивации подземных вод рудовмещающих водоносных горизонтов. Разработан метод значительной интенсификации этого процесса, ускоряющий рекультивацию в десятки раз. Таким образом, метод подземного скважинного выщелачивания, применяемый в Южном Казахстане, является без преувеличения самым экономичным и экологически безопасным методом добычи из всех известных. Общая себестоимость на предприятиях ПСВ в 3-6 раз ниже ее себестоимости на предприятиях с традиционным горным способом добычи урана [16].

**Выводы.** Несмотря на недавнее снижение спроса на электроэнергию в результате мирового финансового кризиса в некоторых развитых странах, спрос, как ожидается, в следующие несколько десятилетий продолжит расти, чтобы удовлетворить растущие потребности населения, особенно в развивающихся странах. Ядерная энергетика позволяет производить конкурентоспособную электроэнергию для обеспечения базисной нагрузки, которая практически не приводит к эмиссии парниковых газов. Кроме того, использование ядерной энергии повышает надежность энергоснабжения. Авария на АЭС «Фукусима-Даичи» (Япония) подорвала в некоторых странах общественное доверие к ядерным технологиям и, вследствие этого, перспективы роста глобальной генерирующей мощности АЭС, в свою очередь, подвержены большей неопределенности. Кроме того, изобилие дешевого природного газа, не склонный к рискам инвестиционный климат и последствия мирового финансового кризиса сделали рост суммарной мощности АЭС более затруднительным, особенно на либерализованных рынках электроэнергии.

Независимо от роли, которую ядерная энергетика призвана сыграть в удовлетворении будущих потребностей в электроэнергии, ми-



ровая ресурсно-сырьевая база урана, описанная в настоящей публикации, более чем достаточна, чтобы удовлетворить прогнозируемые растущие потребности населения, в обозримом будущем.

### Список литературы

1. *Тураев Н.С., Жерин И.И.* Химия и технология урана. – М.: Руды и металлы, 2006. – 396 с.
2. *Шевченко В.Б., Судариков Б.Н.* Технология урана. – М.: Госатомиздат, 1961. – 330 с.
3. *Галкин Н.П., Судариков Б.Н., Верятин У.Д., Шишков Ю.Д., Майров А.А.* Технология урана. – М.: Атомиздат, 1964. – 397 с.
4. *Галкин Н.П., Майров А.А., Верятин У.Д. и др.* Химия и технология фтористых соединений урана. – М.: Изд-во литературы в области атомной науки и техники, 1961. – 348 с.
5. *Раков Э.Г., Хаустов С.В.* Процессы и аппараты производства радиоактивных и редких металлов. – М.: Metallurgy, 1993. – 384 с.
6. *Судариков Б.Н., Раков Э.Г.* Процессы и аппараты урановых производств. – М.: Машиностроение, 1969. – 381 с.
7. *Харрингтон Ч., Рюэле А.* Технология производства урана. – М.: Госатомиздат, 1961.– 586 с.
8. *Чесноков Н.И., Котенко Е.А., Грязнов М.В.* Уранодобывающая промышленность капиталистических стран. Современный этап развития. – М.: Атомиздат, 1979. – 144 с.
9. *Марков В.К., Виноградов А.В., Елинсон С.В. и др.* Уран, методы его определения. – М.: Атомиздат, 1960. – 263 с.
10. *Бекман И.Н.* Уран. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 300 с.
11. Uranium 2011: Resources, Production and Demand. [Электронный ресурс]: <https://www.oecd-nea.org>. 26.11.2016 г.
12. *Байбатша А.Б.* Геология месторождений полезных ископаемых. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 368с.
13. *А.Б. Байбатша.* Полезные ископаемые. – Астана: Фолиант, 2008. –440с.
14. *Бойцов В.Е.* Геология месторождения урана. – М.: Недра, 1989. – 301с.
15. *Наумов Г.Б.* Основы физико-химической модели уранового рудообразования. – М.: Атомиздат, 1978. – 216 с.
16. Метод подземного выщелачивания [Электронный ресурс]: <http://www.iht.kz>. 26.11.2016 г.