

УДК 553.495

МРНТИ 52.31.61

<https://doi.org/10.31643/2019/6445.05>

БАЛИХИН А. В.

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук,  
Москва, Россия, e-mail: [metall@viniti.ru](mailto:metall@viniti.ru)

## МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА УРАНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ. ОБЗОР

Ссылка на данную статью: Балихин А. В. Минерально-сырьевая база урана: современное состояние и перспективы развития. Обзор. // Комплексное использование минерального сырья. – 2019. – №1. – С. 36-50. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.05>

Received: 15 October 2018 / Peer reviewed: 11 December 2018 / Accepted: 01 February 2019

**Резюме:** Рассмотрены состояние, перспективы развития, приоритетные направления воспроизводства и расширения минерально-сырьевой базы урана атомной отрасли России. Охарактеризовано состояние уранодобывающей отрасли в России в целом и по отдельным уранодобывающим предприятиям ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение», АО «Хиагда» и АО «Далур». Отражены основные планы по развитию уранодобывающих предприятий и существующие проблемы. В рамках проблемы представлены перспективные провинции, районы и конкретные геологоразведочные объекты, требующие проведения прогнозно-тематических, прогнозно-минерагенических и поисковых работ. Согласно базовому сценарию развития мировой атомной энергетики, добыча урана к 2030 г. должна увеличиться в 1,5 раза. Производство на действующих рудниках будет снижаться, а планируемые новые рудники смогут лишь компенсировать выбывающие мощности. Дополнительные 30 тыс. т урана в год планируется добывать на новых перспективных рудниках. Несмотря на депрессивный урановый рынок добыча этого стратегического металла в 2016 г. достигла 62 тыс. т – исторический максимум с 1988 г. Общий объем мировых разведанных ресурсов урана более чем достаточен для обеспечения долгосрочных реакторных потребностей. Основным способом добычи урана с 2010 г. стало скважинное подземное выщелачивание. С целью гарантированного долгосрочного сырьевого обеспечения отраслевых потребностей в уране «Росатом» в 2010 г. приобрел канадскую компанию Uranium One и консолидировал на её основе высокоэффективные урановые активы в Казахстане и других странах. За последние 8 лет производство Uranium One выросло почти в 5 раз, что позволило выйти на четвертое место в мире среди урановых компаний.

**Ключевые слова:** уран, минерально-сырьевые ресурсы, месторождение, горное дело, атомная отрасль, уранодобывающие предприятия, скважинное подземное выщелачивание, рудник, урановый рынок, цены, ядерный реактор

**Information about authors:** Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
**Balikhin Andrey Vladimirovich** - Scientific editor of the abstract journal "Non-Ferrous Metallurgy", e-mail: [metall@viniti.ru](mailto:metall@viniti.ru)

БАЛИХИН А. В.

Ресей академиясының ғылыми және техникалық ақпараттық бүкілресейлік институты, Мәскеу, Ресей. e-mail: [metall@viniti.ru](mailto:metall@viniti.ru)

## УРАНЫҢ МИНЕРАЛДЫ-ШИКІЗАТТЫҚ ҚОРЫ: ЗАМАНАУИ ЖАҒДАЙЫ МЕН КЕЛЕШЕГІ. ШОЛУ.

**Түйіндемe:** Ресейдің уран атомдық саласындағы басымды бағыт өндірісі мен минералды-шикізаттық жағдайы мен оның болашақ дамулары қарастырылған. Ресейдегі уранөндірісінің жалпы жағдайы мен бөлек уранөндіретін «Аргун қасындағы өндіріс тау-химиялық бірлестігі», «Хиагда» және «Далур» кәсіпорындарының жағдайлары сипатталаған. Уранөндіретін кәсіпорындарының негізгі даму жоспарлары мен мәселелері көрсетілген. Мәселе ретінде перспективті провинциялары келтірілген және тақырыптама-болжау, минералды-болжау және қарастыру жұмыстары қажет ететін аймақ пен нақты геологиялық барлау объектілері келтірілген. Әлемдік энергетиканың дамудың негізгі сценарийі бойынша уранның өндіруі 2030 жылға 1,5 есе өсуі тиіс. Қазіргі жұмыс істеп отырған кен орындарында өндірісі азая бастайды, ал жоспарланған жаңа кен орындар шығындалған құаттын тек қана орнын толтырып отырады. Жылына уранның қосымша 30 мың тоннасын жаңа перспективті кен орындарынан алуды жоспарланған. Депрессиялық нарыққа қарамастан осы стратегиялық металдың өндірісі 2016 жылы 62 мың тоннаға дейін жеткен – ал тарихи максимумы 1988 жылы. Жалпы әлемдік зерттелген уран ресурстардың мөлшері ұзақ мерзімді реакторлардың қажеттіліктерін қамтамасыз ете алады. 2010 жылдан бастап уранның негізгі өндіру әдістері ол ұңғымалық жерастылық шаймалау болып табылады. Уранның салалық қажеттілігіне байланысты кепілді ұзақ мерзімді шикізаттармен қамтамасыз ету мақсатымен «Росатом» 2010 жылы Uranium One канадтық компанияға ие болды және оның негізінде Қазақстан мен басқа мемлекеттерде жоғарытиімді уран активтерін шоғырлады. Соңғы 8 жылда Uranium One өндірісі 5 есе көбейді яғни әлемдегі уран компаниялардың арасында төртінші орынға шығуға мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** уранның ресурстары, атомдық өндіріс, уранның кен өндіруші өнеркәсібі, минерагендік-болжау жұмыстары, кен орындары, уран нарығы, реакторлық қажеттілік, ұңғымалық жерастылық шаймалау, геологиялық барлау жұмысы

BALIKHIN A. V.

Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: [metall@viniti.ru](mailto:metall@viniti.ru)

#### URANIUM MINERAL-RESOURCES: THE CURRENT STATE AND PERSPECTIVES FOR DEVELOPMENT. REVIEW

**Abstract.** The article covers current state, prospects of development, priority directions of reproduction and expansion of the uranium mineral resource base of the Russian nuclear industry. The state of the uranium mining industry in Russia and for individual uranium mining enterprises as Priargun Production Mining and Chemical Corporation PJSC, Hiagda JSC and Dalur JSC is characterized. The main plans for the development of uranium mining enterprises and existing problems are reflected. Within the framework of the problem, promising provinces, regions and specific exploration objects are presented, which require forecast-thematic, prognostic-mineragenic and prospecting works. According to the basic scenario of the development of the world nuclear power industry, uranium mining by 2030 should increase by 1.5 times. Production at operating mines will decline, and the planned new mines will only be able to compensate for the outgoing capacity. It is planned an additional 30 thousand tons of uranium per year will be extracted at new promising mines. Despite the depressive uranium market, uranium mining in 2016 reached 62 thousand tons – a historic maximum since 1988. The total uranium resource is more than sufficient to ensure the long-term needs of nuclear industry. In-situ underground leaching becomes main method of uranium extraction since 2010. Rosatom has acquired a Canadian public company Uranium One in 2010 in order to secure long-term uranium supply for Russian nuclear fuel cycle chain. Rosatom has consolidated on its basis high-performance uranium assets in Kazakhstan and in other countries. Uranium One has increased annual production almost 5 times during the last 8 years and became a fourth global U producer.

**Keywords:** uranium, mineral resources base, deposit, mining, atomic power engineering, uranium-mining industry, in-situ underground leaching, mine, uranium, market, price, nuclear reactor, geological exploration.

**Введение.** Мировая энергетика является одним из главнейших факторов экономического развития человечества. В наши дни и на перспективу атомная энергетика играет и будет играть важную роль в энергопроизводстве, как в мире в целом (16 % от всего годового объёма вырабатываемой электроэнергии), так и в экономически развитых странах – во Франции (до 75 %), Швеции (38 %), Финляндии (33 %), США (19 %), Великобритании (18 %), России (17 %), Канаде (15 %) и др. На конец 2017 г. в мире действовало 448 тепловых реактора, общей мощностью 392 ГВт, потребляющих порядка 60 тыс. т природного урана в год, что близко к его годовому производству [1]. В докладе генерального директора Всемирной ядерной ассоциации, сделанном в Мадриде, отмечено, что рост ядерной энергетике в мире находится на 25-летнем максимуме. В период 2015-2017 гг. в среднем в год в мире запускалось 10 реакторов, а в 2018 г. – 14 новых реакторов. Предполагается к 2050 г. достижение доли атомной энергетике в мире до 25 %, что позволит удержать повышение средней температуры на планете не более 2 градусов. По прогнозу Ux Consulting, к 2020 г. число реакторов в мире вырастет до 461 (мощность – 410 ГВт); прогноз на 2030 г. – 533 реактора (мощность – 518 ГВт). Добыча урана к 2030 г. должна увеличиться до 80 тыс. т, т.е. на 25 %. Создаются также реакторы на быстрых нейтронах, обеспечивающие замкнутый характер работы ядерного топливного цикла, и использующие смешанное оксидное уран-плутониевое топливо, полученное из отработавшего ядерного топлива, с добавлением природного урана [2].

В России ядерные реакторы 10 АЭС потребляют около 4,5 тыс. т урана в год и

производят 203 млрд. кВт-ч электроэнергии. В среднесрочной перспективе планируется построить ещё 9 реакторов и к 2030 г. довести общий объём установочной мощности АЭС до 34 ГВт, что потребует порядка 7,5 тыс. т природного урана в год. Однако кроме внутреннего потребления Россия обеспечивает ядерными материалами российские реакторы в других странах и осуществляет экспорт ядерного топлива по действующим и вновь заключённым контрактам. Портфель зарубежных заказов «Росатома» уже 2 года составляет 133 млрд. \$ и занимает 2/3 мировых заказов. Сегодня в портфеле «Росатома» на разных этапах реализации находятся проекты 44 энергоблоков АЭС, из которых 9 в России и 35 за рубежом в 12 странах мира. В октябре 2018 г. Россией и Узбекистаном подписано соглашение о строительстве атомной станции. Ведутся переговоры с Казахстаном.

По оценкам экспертов, в том числе МАГАТЭ, потребность России в уране составляет от 12 до 20 тыс. т в год. К 2030 г. в связи со строительством новых АЭС в России и за рубежом потребности в природном уране могут вырасти до 25 тыс. т [1]. Между тем, «Росатом» выходит на рынок топлива западного образца – «квадратов» (блоки российского образца – «шестиугольники» [2]). Скоро стартует проект «Росатома» в Швеции. Исторический контракт на поставки российского топлива «ТВС-Квадрат» на энергоблоки шведской АЭС «Рингхальс» с 2021 г. был подписан в декабре 2016 г. Это топливо создано специально для реакторов с водой под давлением (PWR) западного образца, на которых специализируется Westinghouse. В мире таких реакторов типа PWR более 200. Для шведских компаний такая диверсификация поставщика имеет коммерческий

смысл – российское ядерное топливо повысит экономическую эффективность эксплуатации станции. Исходя из этого будет расти потребность в уране, а значит, и цены на него.

Всего в мире за исторический период было открыто более 1000 месторождений урана. Количество открываемых месторождений за период с 1940-х годов неуклонно сокращалось. Абсолютный минимум приходится на 1990-е годы, и лишь в текущем столетии наметился некоторый рост. Это говорит о том, что эра простых открытий прошла. Открытие месторождений – сложный, дорогостоящий и длительный процесс, занимающий, по оценке AREVA, в среднем около 15 лет и требующий порядка 50 млн. евро затрат при положительных результатах [3].

В России дефицит сырья в настоящее время и на ближайшую перспективу покрывается складскими запасами и вторичными ресурсами. Поэтому в сложившейся ситуации важнейшей задачей геологической отрасли является выявление крупных урановорудных объектов с приемлемыми параметрами руд, экономически заслуживающих создания новых горнодобывающих предприятий [4].

**Урановый рынок: спрос, предложение, цены.** Все ведущие мировые аналитики в области уранового рынка прогнозируют устойчиво растущий спрос на уран в долгосрочной перспективе. С 2024 г. спрос начнет превышать предложение, и дефицит составит более 18 тыс. т к 2030 г., а при агрессивном сценарии развития атомной энергетики достигнет 48 тыс. т [3]. Более ранний аналитический обзор Всемирной ядерной ассоциации 2015 г. [5] показывает, что добыча к 2035 г. должна увеличиться до 90 тыс. т (рисунок 1),

а необеспеченный спрос планируется удовлетворять с 2023 г. за счёт разработок новых перспективных рудников в объёме 30 тыс. т урана в год к 2035 г.

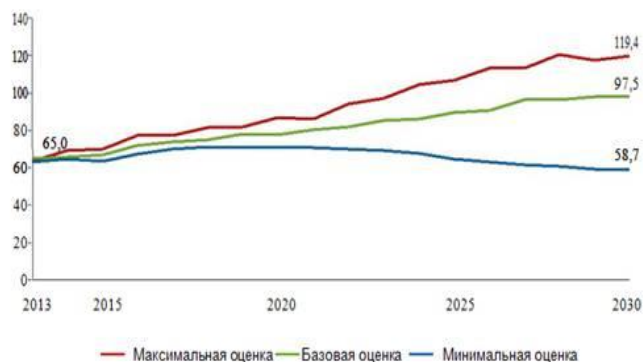


Рисунок 1 – Прогноз изменения потребности в уране, тыс. т

До начала 1990-х годов в связи с развитием военных ядерных программ добыча урана значительно превышала реакторные потребности. В результате были сформированы крупные складские запасы урана. С началом демилитаризации и конверсии ядерных программ запасы стали активно расходоваться на нужды энергетики, что привело к дисбалансу между добычей урана и его потреблением. Добыча снижалась, а низкие цены на уран не стимулировали развитие новых производств и привлечение инвестиций в геологоразведку. В 2007 г. произошёл небывалый рост цен (до 135 \$ за фунт  $U_3O_8$ ), который дал импульс развитию урановой промышленности. Однако трагедия Фукусимы привела к закрытию ряда реакторов, и цены снова пошли вниз: с 72 \$ в 2011 г. до 20 \$ за фунт в 2017 г. [3]. Динамика падения цен в 2011-16 гг. показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Динамика падения цен на закись-окись урана за фунт в 2011-2016 гг.

В сложившихся условиях низких цен пересматриваются планы по вводу новых месторождений в пользу решения задач повышения экономической эффективности и устойчивому развитию действующих предприятий. Сокращаются инвестиции в геологоразведку. Несмотря на это, Канада, США и Китай, на который приходится 90 % вложений, поддерживают инвестиции на высоком уровне. По некоторым оценкам, накопленные Китаем с 2008 г. складские запасы превысили 130 тыс. т [3].

В следующем десятилетии ожидаемый дефицит природного урана в России может быть компенсирован привлечением вторичных ресурсов, в том числе складских запасов. К 2035 г. из них будет использовано только на ядерную энергетику России и стран с российскими реакторами 140 тыс. т, а с учётом экспорта – 360 тыс. т, что явно превышает реальные возможности [6]. В таблице 1 приведены потребности России в уране к 2035 г. без учёта исследовательских реакторов и военной составляющей. Приведённые в источнике [6] цифры могут значительно изменяться в зависимости от политической обстановки в мире, что видно на примере с Турцией или странами Восточной Европы.

Особенно большие риски связаны с Украиной, где в 2014 г. произошёл государственный переворот, в результате которого делаются попытки отказа от сотрудничества с Россией в атомной энергетике. Однако при благоприятных обстоятельствах, на что мало надежды, на эту страну к 2035 г. может приходиться 27,3 % от всех российских поставок.

Таблица 1 – Общие потребности России в уране в 2015 и 2035 гг., тыс.т.

Статьи расхода урана	2015	2035
Ядерная энергетика России	4,6	7,6
Ядерная энергетика стран с российскими реакторами	6,6	11,9
Экспорт в США и страны ЕС	8,1	8,0
Поставки ТВС на новые зарубежные реакторы	0	5,0
Всего	19,3	32,5

**Минерально-сырьевая база урана и состояние уранодобывающей отрасли.** Срок отработки любого месторождения конечен, поэтому ключевым фактором устойчивого роста добычи урана является качественная сырьевая база. Запасы урана по различным странам представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Распределение мировых запасов урана по странам

Урановые руды в России принято классифицировать по различным признакам. Чаще всего они различаются условиями образования. Так, существуют эндогенные, экзогенные и метаморфогенные руды. В первом случае они представляют собой минеральные образования, сформировавшиеся под воздействием высоких температур, влажности и пегматитовых расплавов. Экзогенные урановые минеральные образования возникают в поверхностных условиях. Они могут формироваться непосредственно на поверхности земли. Это происходит из-за циркуляции подземных вод и накопления осадков. Метаморфогенные минеральные образования появляются как результат перераспределения первично разнесенного урана. В соответствии с уровнем содержания урана, эти природные образования могут быть: супербогатыми (свыше 0,3 %); богатыми (от 0,1 до 0,3 %); рядовыми (от 0,05 до 0,1 %); убогими (от 0,03 до 0,05 %); забалансовыми (от 0,01 до 0,03 %) [7].

Добыча урановых руд осуществляется тремя основными технологиями. Если залежи руды сконцентрированы максимально близко к поверхности земли, то для их добычи принято использовать открытый (карьерный) способ, показанный на рисунке 4.



Рисунок 4 – Добыча урановой руды открытым способом

При глубоком залегании рудного тела (до 2-х километров) используется способ добычи, предусматривающий создание шахты или штольни (рисунок 5).

Третья технология – скважинное подземное выщелачивание (СПВ) – для разработки месторождений урана предполагает бурение скважин, через которые в залежи закачивается 1-2 %-ная серная кислота или карбонатный раствор, вскрывающие урановые минералы, просачиваясь через рудный пласт.

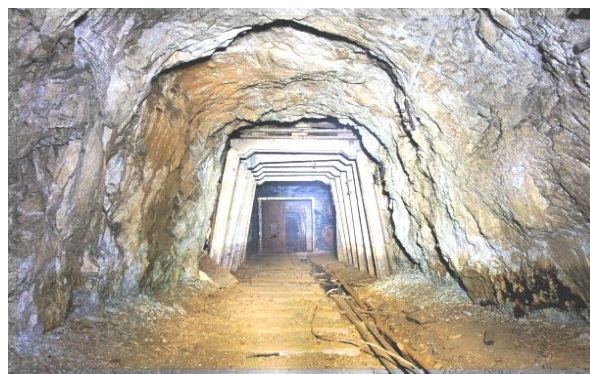


Рисунок 5 – Урановые шахты Бештау

Далее осуществляется бурение еще одной скважины, необходимой для откачки полученного (продуктивного) раствора на поверхность земли. Схема представлена на рисунке 6.

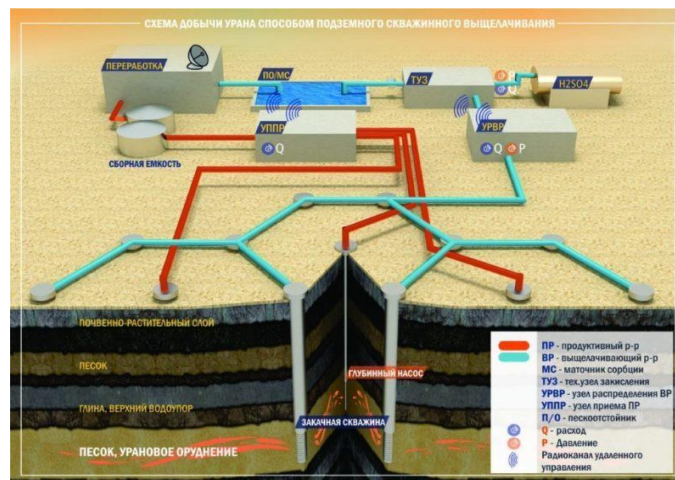


Рисунок 6 – Схема добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания

Эта технология стала с 2010 г. основным способом добычи урана, и её доля выросла с 20 % в 2005 г. до 50 % в 2015 г. [3]. С 1995 г. в Узбекистане и с 1996 г. в Казахстане этот метод добычи урана стал единственным. Удельные капитальные затраты при организации СПВ в 2-4 раза ниже, чем при карьерной или шахтной добыче [8] и переработке руды на гидрометаллургических заводах. Технологии, подробно описанные в литературе [8, 9], позволили значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда горнорабочих, увеличить эффективность отработки запасов месторождений и снизить себестоимость добычи урана на 60-70 %. Впервые промышленная добыча урана СПВ была начата во второй половине 60-х годов. Технологии СПВ стали особенно интенсивно развиваться после открытия крупных гидрогенных

месторождений урана, приуроченных к обводненным пластам песков [10].

Для проведения СПВ необходимы наличие водоупорного подстилающего слоя и хорошая проницаемость породы, содержащей уран: минимальная скорость просачивания – 10 см/сут, предел применимости метода – проницаемость 0,5-0,7 мкм<sup>2</sup>. Если учесть, что скорость просачивания 10 см/сут. достигается при перепаде давлений 105 Па/50 м, то можно рассчитать, что проницаемость породы соответствует 0,58 мкм<sup>2</sup> [8]. Наиболее благоприятные условия для применения СПВ имеются в Казахстане, где проницаемость рудных пластов намного больше, чем минимально необходимая. Так, в Сырдарьинской ураново-рудной провинции коэффициент фильтрации (КФ) достигает 15-20 м/сут. На месторождении Канжуган (юг Чу-Сарысуйской депрессии) КФ составляет 3,0-7,5 м/сут. (под КФ понимается скорость фильтрации при перепаде давления 104 Па на 1 м рудного пласта) [8]. Высокие значения КФ пластов позволяют увеличить расстояние между закачными и откачными скважинами. При этом стремятся к тому, чтобы гидравлический уклон был не меньше 104 Па/м. При высокой проницаемости рудного пласта можно увеличить расстояние между рядами откачных и закачных скважин до 80-100 м, что существенно сократит число скважин, на бурение которых приходится от 15 до 30 % всех затрат. Наиболее благоприятным случаем применения СПВ можно считать извлечение урана из вторичных месторождений, находящихся в песках и пористых песчаниках.

Вместе с тем, в Казахстане в Институте горного дела им. Д. А. Кунаева разработаны новые технологии, позволяющие применять СПВ и без водоупора [11].

Выбор реагентов определяется содержанием легковскрываемых примесей, главным образом карбонатов кальция и магния. При содержании CO<sub>2</sub> в пласте ниже 1 % расход серной кислоты составляет 25-80 кг/кг U; для слабокарбонатных руд, содержащих 2,5 % CO<sub>2</sub>, он возрастает до 100-200 кг/кг U. В этом случае серноокислотное выщелачивание становится нерентабельным, и тогда применяются карбонатные растворы. Пленки урановой черни легко вскрываются как одним, так и другим способом, а для вскрытия настурана и коффинита, содержащих четырехвалентный уран, требуется окислитель, в качестве которого используется перекись водорода или растворенный кислород. Кислотный метод выщелачивания широко используется в Казахстане и Узбекистане.

Выщелачивание проводят растворами H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрацией 5-25 г/дм<sup>3</sup>, pH продуктивных растворов при этом составляет 1,5-2,5. Серноокислотное выщелачивание характеризуется хорошей кинетикой взаимодействия растворов с рудой, высокими концентрациями урана в продуктивных растворах (50-100 мг/дм<sup>3</sup>), высокой степенью извлечения урана из руд (80-90 %), небольшим временем отработки блоков (3-5 лет), минимальным растеканием растворов за контур отработки, т.к. серная кислота при взаимодействии с вмещающими породами создает барьер, препятствующий миграции выщелачивающих растворов [8].

В России минерально-сырьевая база (МСБ) АО «Атомредметзолото» («АРМЗ») по состоянию на 1 января 2017 г. составляет 517,1 тыс. т урана по категории С1 + С2. При этом основная часть МСБ (90 %) представлена объектами с рядовыми и бедными рудами, пригодными для отработки подземным шахтным способом, что обуславливает высокую стоимость добычи. Только 10 % МСБ «АРМЗ» (52,8 тыс. т) составляют объекты песчаного типа, освоение которых возможно высокоэффективным способом СПВ, что определяет их отнесение к низкой ценовой категории добычи – 40-80 долл./кг [12].

Добыча урана в России осуществляется на трёх предприятиях, входящих в структуру «АРМЗ»: ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ПАО «ППГХО») в Забайкальском крае, АО «Хиагда» в Бурятии и АО «Далур» в Курганской области. В 2016 г. на предприятиях «АРМЗ» было добыто 3017 т урана [12]. В 2017 г. «АРМЗ» удалось сохранить добычу на уровне 3 тыс. т [13].

Основное предприятие по добыче урана на территории России – ПАО «ППГХО». Объём добычи в 2016 г. составил 1884 т или 62 % от общего объёма добычи. Это – крупнейшее горнорудное предприятие Забайкальского края. В его состав входят подземные рудники, угольный разрез, гидрометаллургический, серноокислотный, ремонтно - механический заводы, теплоэнергоцентр, транспортные предприятия и другие вспомогательные производства. Основой сырьевой базы объединения служит Стрельцовская группа урановых и молибден-урановых месторождений со средним содержанием урана в рудах порядка 0,15 %. Минерально-сырьевая база ПАО «ППГХО» представлена в таблице 2 [12]. В 2017 г. предприятие выпустило 1631 т закиси-окиси урана [13]. Снижение добычи дорогостоящими карьерным и шахтным способами сбалансировано

ростом добычи современным и экологически чистым способом СПВ.

Таблица 2– Минерально-сырьевая база ПАО «ППГХО» по состоянию на 01.01.2017

Месторождение	Запасы, тыс. т		
	A + B + C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Всего
Стрельцовское	18,8	8,7	27,5
Антей	2,7	2,3	5,1
Лучистое	0,6	1,2	1,8
Мартовское	2,0	1,1	3,1
Октябрьское	3,6	2,1	5,7
Малотулукуевское	8,3	2,3	10,5
Тулукуевское	1,7	0,4	2,0
Юбилейное	4,4	0,4	4,8
Новогоднее	0,6	0,1	0,7
Весеннее	0,1	0,4	0,4
Аргунское	28,0	9,5	37,4
Жерловое	3,1	0,3	3,5
Итого	73,8	28,8	102,5

Стрельцовский урановорудный район представляет уникальное скопление жильных ураносодержащих месторождений, связанных с вулканическими комплексами базальт-липаритовой формации. При этом проявлены месторождения трех морфологических видов: жильные и штокерковые в породах кристаллического фундамента вулканотектонических структур, имеющие аналогичные тела в лавах и туфах вулканического этажа, а также пластовые залежи вкрапленных руд в осадочных породах, переслаивающихся с вулканиитами [10].

В контурах на площади  $\approx 150 \text{ км}^2$  в пределах единой вулканотектонической депрессионной структуры (кальдеры) Стрельцовского района локализованы 16 сближенных месторождений, 4 из которых могут быть отнесены к крупным, причем 2 расположены в породах фундамента (Антей и Аргунское), 3 – только в осадочных породах, образуя согласные пластовые залежи (Дальнее, Лучистое, В. Широндукуевское) и 3 – в вулканиитах жерловых фаций (Красный Камень, Жерловое, Юго-Западное). Остальные месторождения содержат как жильные тела в покровных вулканиитах, так и пластовые в разделяющих вулканиитах осадках. Крупнейшие месторождения с богатыми рудами ( $>0,6 \%$  U) – Антей, на котором отрабатываются глубокие горизонты, и уже отработанное Тулукуевское. Урановая минерализация руд месторождений Стрельцовского района преимущественно настурановая, часто с

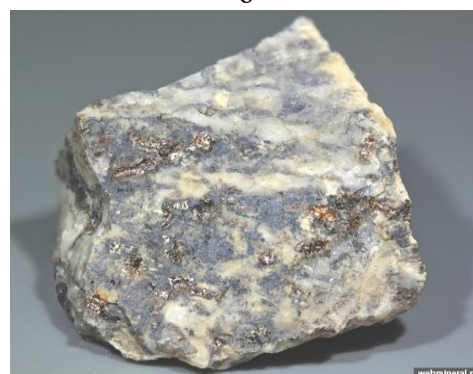
примесью коффинита, реже браннерита (рисунок 7). Характерные спутники урана в рудах – молибден и флюорит. Было выявлено также до 1 г/т рения [10].



а



б



в

а – полированный образец брекчии трахидактила сцементированной кварц-карбонатным агрегатом (светлое), черно-фиолетовым флюоритом и черным настураном;  
 б – коффинит  $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ ;  
 в – браннерит  $(\text{U}^{4+}, \text{Th}, \text{Y}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Nb})_2\text{O}_6$

Рисунок 7 – Образцы урановых минералов месторождений Стрельцовского района

В 2017 г. по причине истощения МСБ и высокой себестоимости добычи из эксплуатации выводится часть месторождений с проведением мероприятий по консервации. Компенсировать снижение уровня добычи и эффективно использовать производственную инфраструктуру ПАО «ППГХО» позволит строительство и ввод в

эксплуатацию рудника № 6 на базе Аргунского и Жерлового месторождений. В марте 2018 г. началось строительство рудника. Эксплуатационные запасы составляют около 40 тыс. т урана (35 % от общего объема запасов «ППГХО»). Среднее содержание стратегического металла здесь выше, чем на действующих рудниках. Начало добычи на руднике № 6 планируется в 2022 г., выход на проектную мощность в 2026 г. с добычей руды 850 тыс. т в год. Объем добычи урана после ввода в эксплуатацию рудника № 6 составит более 2,3 тыс. т урана в год и обеспечит работу предприятия до 2050 г. [12].

АО «Хиагда» осуществляет добычу урана способом СПВ на гидрогенных месторождениях Хиагдинского рудного поля в Бурятии и является наиболее перспективным российским урановым активом. МСБ состоит из месторождений Хиагдинское, Источное, Вершинное, Добрынское, Количиканское, Намаруское и Кореткондинское с общими запасами 38,0 тыс. т по категории С1 + С2 по состоянию на 01.01.2017, а также месторождения Тетрахское с запасами 6,4 тыс. т, находящегося в нераспределённом фонде (таблица 3).

Таблица 3 – Минерально-сырьевая база АО «Хиагда» по состоянию на 01.01.2017

Месторождение	Запасы, тыс. т		
	A + B + C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Всего
Хиагдинское	3,7	3,6	7,4
Вершинное	4,3	0,3	4,6
Источное	1,6	0,4	2,1
Количиканское	4,1	2,4	6,5
Намаруское	4,5	1,6	6,1
Кореткондинское	3,5	1,2	4,7
Добрынское	5,5	1,2	6,6
Тетрахское		6,4	6,4
Всего	27,3	17,1	44,4

Все месторождения имеют сходное геологическое строение и геотехнологические параметры. Месторождения подготовлены к промышленному освоению. Объем добычи по итогам 2016 г. составил 541 т урана [12]. В 2017 г. добыто 693 т [13]. К 2019 г. планируется достичь производительности 1000 т в год. Основные объекты производственной площадки и сопутствующей инфраструктуры позволят обеспечить производительность более 1500 т/год урана. Учитывая существующий опыт отработки месторождений Хиагдинского рудного поля, при производительности 1000 т/год предприятие обеспечено запасами на период до 2036 г., после чего неизбежно произойдет снижение объемов

добычи [12]. Из-за низкой температуры на месторождениях вязкость подземных вод в 2,5 раза выше, чем, например, на южно-казахстанских гидрогенных месторождениях урана. При движении выщелачивающих растворов в наземных трубопроводах в зимний период, когда температура опускается ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ , температура растворов может снижаться до  $-10^{\circ}\text{C}$  (близко к точке замерзания водных растворов электролитов). В этом случае вязкость переохлажденных растворов повышается и возрастает гидравлическое сопротивление при входе в водоносный горизонт через фильтры закачных скважин. КФ рудоносных отложений на месторождениях имеет низкую величину и изменяется от 1,4 до 3,7 м/сут. при среднем значении 2,09 м/сут. При температуре  $20^{\circ}\text{C}$  КФ увеличивается до 2,5-6,4 м/сут. при среднем значении 3,6 м/сут. Соответственно и производительность эксплуатационных ячеек увеличивается в 1,5 раза ( $6\text{ м}^3/\text{ч}$ ). Применение окислителя позволяет значительно снизить замедляющее влияние низкой температуры подземных вод на кинетику химических реакций и динамику извлечения урана из руд разбавленными растворами  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и иметь сравнительно высокие содержания урана в продуктивных растворах, обрабатывая ураново-рудные залежи высокими темпами. Замена материала обсадных труб из полиэтилена низкого давления более надежными в условиях многолетней мерзлоты трубами из поливинилхлорида с модификаторами, повышающими ударную прочность и морозостойкость, позволит снизить аварийность технологических скважин и выйти на показатели, соответствующие мировому уровню, – 3-7 % выхода из строя технологических скважин в год.

АО «Далур» ведёт работы по добыче урана способом СПВ на месторождениях Курганской области: Далматовское, Хохловское, Добровольное. Общий объем запасов категории С1 + С2 по состоянию на 01.01.2017 оценивается в 14,8 тыс. т урана (таблица 4), ресурсов по категории Р1 – в 11,1 тыс. т.

Таблица 4– Минерально-сырьевая база АО «Далур» по состоянию на 01.01.2017

Месторождение	Запасы, тыс. т		
	A + B + C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Всего
Далматовское	2,0	1,3	3,4
Хохловское	3,0	1,3	4,4
Добровольное	0,3	6,7	7,1
Всего	5,4	9,4	14,8



В 2016 г. было добыто 592 т урана. В 2017 г. добыча осталась на таком же уровне. В дальнейшем планируется плавный рост производства с выходом на проектную мощность 700 т в год и поддержание её до 2030 г., затем снижение производительности и окончание разработки месторождений к 2040 г. АО «Далур» ведёт опытно-промышленные работы по организации попутной добычи скандия из ураносодержащих растворов [12]. Развёрнуто строительство опытно-промышленной установки.

Сотрудниками НИЛ-311 АО «ВНИПИПромтехнологии» проведены работы по определению содержания редкоземельных металлов (РЗМ) и скандия в технологических растворах, ионообменной смоле и готовой продукции на основных операциях технологической схемы сорбционной переработки растворов СПВ урана. Отсутствие факта концентрирования РЗМ и скандия там объясняется использованием в основном производстве урана ионообменной смолы анионного типа, которая не сорбирует РЗМ и скандий, присутствующие в продуктивных растворах преимущественно в катионной форме. Исследован процесс сорбции скандия и РЗМ из маточных растворов сорбции урана с применением сорбентов производства Lanxess, Purolite, The Dow Chemical Company, выпускаемых в настоящее время в промышленных масштабах. Проведенные исследования позволили выявить перспективные образцы сорбентов для извлечения скандия и РЗМ из маточных растворов сорбции урана на предприятиях ПАО «ППГХО», АО «Хиагда» и АО «Далур» [14].

До 2020 г. планируется сохранить суммарное производство урана на трёх отечественных предприятиях на уровне 3,0-3,2 тыс. т в год (в зависимости от динамики отраслевых потребностей в урановом сырье и цен на природный уран на мировом рынке), при этом увеличивая долю урана, добываемого СПВ.

Крупные новые проекты, включая стратегический проект «Элькон», планируется ввести в долгосрочной перспективе (ориентировочно в 2030 г.) на этапе активного роста рынка. В указанный период ожидается увеличение спроса и цен на уран, что обеспечит экономически эффективную реализацию таких проектов.

С целью гарантированного долгосрочного сырьевого обеспечения потребностей в уране предприятий ядерного топливного цикла «Росатом» в 2010 г. приобрел канадскую

компанию Uranium One и консолидировал на её основе высокоэффективные активы в ключевых «урановых» регионах мира. В 2013 г. Урановый холдинг «АРМЗ» – преемник 1 ГУ «Минсредмаша», – учитывая ситуацию на мировом рынке природного урана, осуществил сделку по консолидации 100 % акций компании Uranium One. Доля «Росатома» таким образом в мировой добыче составила 13 %, из которых 8 % – производство компании Uranium One, проекты которой диверсифицированы как географически на четырех континентах (компания владеет активами в Казахстане, Австралии, США и Танзании), так и по всему производственному циклу: геологоразведка, проектирование, строительство рудников и добыча с тем, чтобы выбывающие мощности компенсировались новыми рудниками. За последние годы производство компании выросло почти в 5 раз (с 1102 т в 2008 г. до 4919 т в 2016 г.), что позволило выйти на 4 место в мире среди урановых компаний. Разведанная сырьевая база и планируемые производственные мощности способны обеспечить дальнейший рост при благоприятных рыночных ценах. Ресурсная база за 4 года увеличилась в 1,4 раза [3].

История развития урановой отрасли СССР и России с середины 1940-х годов по настоящее время подробно описана в фундаментальном труде [10].

С целью восполнения и развития сырьевой базы Uranium One осуществляет геологоразведку как в уже определившихся урановорудных районах и зонах своего присутствия, так и в новых странах. Приоритетным направлением стало сотрудничество с НАК «Казатомпромом» в области поиска месторождений для СПВ. Реализуемая совместная инновационная техническая политика в совокупности с уникальными по своим геологическим и технологическим характеристикам месторождениями в Казахстане обеспечивает важное конкурентное преимущество Uranium One как производителя с самой низкой себестоимостью добычи урана. За последние 10 лет Казахстан увеличил добычу в 6 раз и в 2017 г. добыл 40 % мирового урана. Среди компаний «Казатомпром» прочно удерживает лидерство с 21 % от общемировой добычи урана. Далее следуют канадская Cameco (17 %), французская AREVA, созданная в 2001 г. путем объединения компаний атомной промышленности Cogema, Framatome и Technicatome, незначительно опередившие «Росатом» после запуска в 2015 г. рудника Cigar Lake в Канаде [3].

В горнодобывающую группу АО НАК «Казатомпром» входит 16 предприятий с полным и частичным правом собственности, которые занимаются разработкой 20 рудников подземным скважинным выщелачиванием. Урановые месторождения расположены на территории Южно-Казахстанской, Кызылординской и Акмолинской областей.

В 2017 г. доля добычи Uranium One в Казахстане в урановых СП достигла 5,06 тыс. т. Годом ранее этот показатель был почти на 5 % меньше, или около 4,84 тыс. т. В прошлом году, по данным Минэнерго, Казахстан добыл 23,39 тыс. т урана. Таким образом, доля производства Uranium One в Казахстане не превышает и четверти от общего объема урановой добычи в стране. Детально добыча Uranium One на урановых рудниках Казахстана в 2017 г. складывалась из следующих показателей: на руднике «Ақдала» – 630 т, на «Южном Инкае» – 1387 т, на «Каратау» – 1176 т, на «Ақбастау» – 966 т, на «Заречном» – 415 т, на «Хорасане» – 485 т.

Себестоимость добычи урана в СП Uranium One стабильно снижается в последние годы, не только за счет изменения курса тенге, но и за счет наращивания эффективности с применением технологии СПВ. Так, совокупная средневзвешенная себестоимость реализации составила восемь долларов за фунт против девяти в 2016 г. В середине марта этого года спотовая цена за фунт урана достигала 21,85 доллара. Притом, что по долгосрочным контрактам у отдельных поставщиков договорная цена на урановое сырье может превышать 40 долларов за фунт, говорилось на конференц-колле канадской урановой компании Cameco в феврале текущего года. Вместе с тем, средняя цена реализации металла Uranium One в прошлом году снизилась с 27 до 21 доллара за фунт, а спотовая в прошлом году упала с 26 до 22 долларов [15].

Как отмечалось выше, производство урана из российских месторождений не покрывает и трети общей потребности страны для собственной атомной промышленности, поставок по международным обязательствам и долгосрочным договорам. Недостающее количество компенсируется ураном, добываемым совместными предприятиями на месторождениях Казахстана, а также складскими запасами и вторичными ресурсами. К 2035 г. существующий дефицит урана значительно возрастет, и указанных источников может не хватить для обеспечения энергетической

безопасности страны. В связи с этим предлагается ряд мероприятий по расширению и совершенствованию МСБ России и росту производства урана на отечественных предприятиях [16].

Первоочередного внимания заслуживают месторождения, расположенные на территории действующих и проектируемых предприятий. Кроме отработываемых 11 месторождений известно еще 41 месторождение, из которых 20 относятся к распределенному фонду и 21 к нераспределенному фонду недр. Выполнение проектов, намеченных ранее программой «Уран России», позволило бы добывать к 2025 г. до 15 тыс. т урана в год [6]. Рассмотрены пути повышения эффективности функционирования госкорпорации «Росатом» посредством совершенствования форм взаимодействия между отдельными ее компаниями. Предложена матричная модель возможных результатов деятельности «Росатома» [17].

В работе [1] специалистами ФГБУ «Всероссийский институт минерального сырья» («ВИМС») рассмотрены приоритетные направления воспроизводства и расширения МСБ урана, современные эффективные геолого-физические и геохимические методы поисков и оценки месторождений. Обращено внимание, что в сложившейся ситуации важнейшей задачей геологической отрасли является выявление крупных урановорудных объектов с приемлемыми параметрами руд, экономически заслуживающих создания новых горнодобывающих предприятий. В работе [18] специалистами ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» («ВНИИХТ») кратко охарактеризованы крупнейшие месторождения урана с запасами более 50 тыс. т, дана их промышленная и генетическая классификация, рассмотрены закономерности пространственного размещения, выделены эпохи рудообразования, приведены генетические модели и факторы, способствующие формированию крупных месторождений.

28-30 ноября 2017 г. в Москве состоялся 4-ый Международный симпозиум «Уран: геология, ресурсы, производство», на котором было доложено о состоянии МСБ урана России и первоочередных задачах её освоения и развития, а также урановом потенциале других стран. На примере типовых урановорудных узлов и урановорудных полей месторождений южной окраины Сибирской платформы (Ансах, Туюкан,

Чепок и др.) рассмотрены особенности геолого-структурных обстановок и условий формирования уранового оруднения в перечисленных районах. На основе проведенного анализа сделано заключение, что расширение МСБ урана в данном регионе связано, в первую очередь, с Чарским урановорудным районом, который располагает наиболее выраженными признаками промышленных месторождений, формирующихся в метаосадочных толщах фундамента ниже протерозойского несогласия. В этом районе также имеются перспективы выявления редкометалльного (тантал-ниобиевого) оруднения [19].

В докладе [20] проведен выбор эталонных моделей урановых месторождений главных геолого-промышленных типов (МАГАТЭ) и дана их характеристика. В качестве прогнозируемых типов на территории Вьетнама выделяются песчанниковый, гранитный, вулканический, черносланцевый и поверхностный типы. Для каждого из них разработаны прогнозные критерии и признаки. В результате на территории Вьетнама выделены Северо-Вьетнамская и Конгум-Далатская урановорудные провинции. Запасы и ресурсы Вьетнама: RAR – достоверные запасы ( $U_3O_8 > 0,047\%$  – 131 т); EAR-I – дополнительные запасы I уровня ( $U_3O_8 > 0,047\%$  – 5090,5 т); EAR-II – дополнительные (забалансовые) запасы II уровня ( $U_3O_8 > 0,01\%$  – 27580 т); EAR-III – дополнительные запасы II уровня ( $U_3O_8 > 0,04\%$  – 14107,3 т); SR – прогнозные ресурсы, прогнозируемые и теоретические спекулятивные ресурсы ( $U_3O_8 > 0,01\%$  – 254197 т); низкая достоверность ( $U_3O_8 > 0,04\%$  – 61890 т). Всего: 316080 т.

Без освоения новых месторождений значительно увеличить производство урана трудно. Поэтому в последнее время в России стали больше обращать внимание и на сырьевые запасы Африки. По сообщению РИА Новости, в Центральной Африке заметно присутствие российских специалистов различного профиля [21], что весьма тревожит США и Францию: «Пока нет никаких данных о том, под чей контроль перешли действующие алмазные копи и урановый рудник. Обычно это происходит довольно быстро и бескровно. Другое дело, что физический контроль над месторождениями и промыслами не означает юридический переход собственности. Для президента ЦАР Туадеры более важна эффективность действий приглашенного контингента по охране границ, уничтожению самого факта угрозы со стороны мусульманских отрядов и окончательное

восстановление безопасности на всей территории страны...».

Проект «Мкуджу Ривер» (Mkuju River) вводится в эксплуатацию в южной части Танзании. Он станет первым урановым рудником Танзании и позволит ей войти в топ-5 производителей урана в Африке. В 2011 г. «АРМЗ» приобрел 100 % акций австралийской публичной компании Mantra Resources Pty Limited, развивающей в Танзании проект Mkuju River. Компания «Мантра Танзания», владеющая проектом, входит в международный горнорудный дивизион «Росатома» – Uranium One [10]. Добыча урана предполагается методом СПВ. Приведены данные об оценке геологических ресурсов и запасов рудника «Мкуджу Ривер» по кодексу CIM NI43-101 по состоянию на 31 декабря 2016 г.

На месторождении Ньёта проведены опыты СПВ с декабря 2015 г. по ноябрь 2016 г. Для подтверждения параметров урановой минерализации выполнено бурение в объеме четырех геологоразведочных скважин глубиной 70 м на опытном участке. Параметры выбранного участка: площадная продуктивность –  $13,3 \text{ кг/м}^3$ , мощность минерализованного интервала – 9,7 м, залегание в интервале глубин 25-35 м, перекрывающий и подстилающий водоупоры отсутствуют, урановая минерализация находится ниже уровня подземных вод, глубина залегания статического уровня – 18 м. Параметры опыта: расстояние между закачной и откачной скважинами – 6 м, интервал установки фильтровых колонн в технологических скважинах – 25-35 м, количество наблюдательных скважин – 6, выщелачивание проведено растворами  $H_2SO_4$  в концентрации 15 г/л. В течение опыта подача рабочих и откачка продуктивных растворов выполнялась круглосуточно. По результатам наблюдений построены графики: опытного и истинного содержания урана в продуктивных растворах, среднего содержания урана в продуктивных растворах, степени извлечения урана в растворы, отношения Ж:Т, удельных затрат реагента [22].

В Африке только в трех странах ведется промышленная добыча урана. Наибольшие запасы ресурса расположены в Нигере – 421000 т. Это пятый показатель в мире, в процентном отношении равен 7,9 %. Самые большие месторождения в стране: Имурарен, Мадауэла, Арлит и Азелит, всего же в стране их 12. Себестоимость добываемого урана в Нигере 34-

50 \$ США за кг. По производству урана Нигер занимает четвертое место с 4528 т урана в год.

Запасы урана в Намибии оцениваются в 383000 т (6,5 %), страна входит в первую пятерку производителей урана в мире (около 10 %).

ЮАР значительно отстает от Нигера по запасам урановой руды, и занимает шестое место в рейтинге Всемирной ядерной ассоциации с 279100 т урана. В ЮАР уран добывается попутно на месторождениях золота. Месторождение Доминион – крупнейшее в стране с открытым и подземным способом обработки. К большим рудникам относятся Вестерн-Ариез, Палабора, Рандфонтейн и Вааль-Ривер, где в основном обрабатываются «хвосты» золотодобывающего производства. Средняя стоимость добычи урана в африканской стране 40 \$ за кг. По производству урана ЮАР значительно отстает от ведущих стран в этой отрасли, производя 540 т в год. Это двенадцатый показатель в мире.

Говоря о перспективах развития МСБ урана с целью обеспечения возрастающих энергетических потребностей разных стран, нельзя забывать и о военной составляющей. В мире нарастает конкурентная борьба за сферы влияния и природные ресурсы, в которой современное вооружение, в том числе и ядерное, будет иметь определяющее значение. Это потребует дополнительных ресурсов стратегических металлов, к которым относится и уран [23-26]. Так Китай намерен к 2038 г. превзойти США как по экономическому потенциалу, так и по военной силе и глобальному влиянию [27]. Всё это означает увеличение потребностей в уране и других стратегических металлах, а значит, и рост цен на них.

**Выводы.** Для обеспечения потребностей атомной энергетики и создания необходимого в достаточном количестве ядерного оружия, обеспечивающего существование страны и ее суверенитет, России необходимо воспроизводство и расширение отечественной МСБ природного урана. Известно, что на сегодняшний день у «Росатома» 35 энергоблоков уже в качестве контрактов и межправительственных соглашений, это – 67 % мирового рынка зарубежного строительства [23]. В сложившейся ситуации важнейшей задачей геологической отрасли является выявление крупных урановорудных объектов с приемлемыми параметрами руд, экономически заслуживающих создания новых горнодобывающих предприятий. Сравнение производства и общих потребностей России в 2015-2035 годах показывает, что даже без

экспорта только на ядерную энергетику России и стран с российскими реакторами потребуется уран из вторичных ресурсов. Россия располагает весьма крупными запасами урана в недрах – около 720 тыс. т, а также складскими запасами и вторичными ресурсами. Однако значительная часть запасов экономически непригодна для разработки в современных условиях предельно низких цен. Основная часть запасов находится в распределенном фонде недр «АРМЗ» и связана с четырьмя рудными районами – Стрельцовским в Юго-Восточном Забайкалье, Витимским в Бурятии, Зауральским в Курганской области и Эльконским в Южной Якутии. «АРМЗ» приняло на себя все полномочия по обеспечению внутренних и внешних сырьевых потребностей российской атомной отрасли и стало одной из ведущих мировых уранодобывающих компаний. Сегодня МСБ России занимает третье место в мире, а горнорудный дивизион «Росатома» – один из ведущих участников на мировом урановом рынке. Главным риском в исполнении намеченной стратегии развития атомной энергетики с широкой экспансией на мировой энергетический рынок является необеспеченность в долгосрочной перспективе сырьевыми ресурсами. Общая ежегодная потребность России в уране может превысить к 2035 г. 30 тыс. т, а производство, если не принять срочные меры, останется на уровне 8-9 тыс. т, из которых только 40 % будет добываться на территории России. Однако при повышении цен на уран и финансировании наиболее перспективных научных разработок и геологоразведочных работ отечественная МСБ может довести производство урана уже к 2025 г. до 15 тыс. т в год, что вместе с ураном из Казахстана обеспечит намеченную стратегию развития ядерной энергетики страны, а также строительство АЭС с российскими реакторами и топливом в других странах.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Машковцев Г.А., Алтунин О.В., Гребёнкин Н.А., Коротков В.В., Овсянникова Т.М., Ржевская А.К. Первоочередные задачи и современные технологии геологоразведочных работ на уран // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 11. – С. 8-22.
- 2 Балихин А.В. О состоянии и перспективах развития методов переработки отработавшего ядерного топлива. Обзор // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 1. – С. 71-87.
- 3 Бойцов А.В. Мировая урановая промышленность: состояние, перспективы развития, вызовы времени // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 11. – С. 4-8.

4 Машковцев Г.А., Алтунин О.В., Гребёнкин Н.А., Коротков В.В., Овсянникова Т.М., Ржевская А.К. Состояние МСБ урана России и первоочередные задачи её освоения и развития // Уран: геология, ресурсы, производство: матер. IV междунар. симп. – Москва, Россия, 28-30 ноября, 2017 – С 61-62.

5 The Nuclear Fuel Report: Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2015-2035. World Nuclear Association. [Электрон. ресурс] – 2015. – URL: <https://www.amazon.co.uk/Nuclear-Fuel-Report-Scenarios-Availability/dp/0993101909> (дата обращения 19.06.2018).

6 Тарханов А.В. Ядерная энергетика: минимизировать риски // Редкие земли. – 2017. – № 1 (8) – С. 160-167.

7 Урановая руда: свойства, применение, добыча. Сайт PROMDEVELOP. [Электрон. ресурс]. – 2017 – URL: <https://promdevelop.ru/uranovaya-ruda-svoystva-primeneniye-dobycha/#harki> (дата обращения 19.06.2018).

8 Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. – М.: Руда и Металлы, 2006. – 396 с.

9 Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н., Рогов А.Е. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. – Алматы: Эверо, 2001. – 442 с.

10 Нестеров Ю.В., Петрухин Н.П. Создание и развитие минерально-сырьевой базы отечественной атомной отрасли. – М.: Атомредметзолото, 2017. – 399 с.

11 Рогов Е.И., Рогов А.Е. Перспективы развития теории и практического применения геотехнологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 7 – С. 136-142.

12 Святецкий В.С., Полонянкина С.В., Ермаков А.Г. Уранодобывающая отрасль России: состояние и перспективы развития // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 11. – С. 22-26.

13 Новости в России. Цветные металлы // Металлоснабжение и сбыт. – 2018. – № 2. – С. 8-9.

14 Соловьёв А.А., Мешков Е.Ю., Бобыренко Н.А., Парыгин И.А. Определение возможности сорбционного концентрирования скандия и редкоземельных металлов из возвратных растворов скважинного подземного выщелачивания урана // Цветные металлы. – 2018. – № 7. – С. 6-12. DOI: 10.17580/tsm.2018.07.01

15 Сериков Д. Долевая рокировка Uranium One не случилась. Сайт Atameken business channel. [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://abctv.kz/ru/news/dolevaya-rokirovka-uranium-one-ne-sluchilas> (дата обращения 29.03.2018).

16 Машковцев Г.А., Мигута А.К., Тарханов А.В., Щеточкин В.Н. Урановородный потенциал России 2015-2035. – М.: Всероссийский институт минерального сырья. – 2017. – № 33. – 119 с.

17 Воробьёв А.Г., Тимохин Д.В., Бугаенко М.В., Попова Г.И. Формирование механизмов устойчивого инновационного развития атомной отрасли // Цветные металлы. – 2016. – № 3. – С. 8-12. DOI: 10.17580/tsm.2016.03.01

18 Тарханов А.В., Бугриева Е.П. Крупнейшие урановые месторождения мира. – М.: Всероссийский институт минерального сырья. 2012. – № 27. – 118 с.

19 Макарьев Л.Б., Царук И.И. Минерально-сырьевая база урана южной окраины Сибирской платформы // Уран: геология, ресурсы, производство: матер. IV междунар. симп. – Москва, Россия, 28-30 ноября, 2017. – С. 60-61.

20 Миронов Ю.Б., Чан Нгок Тхай. Урановый потенциал Вьетнама // Уран: геология, ресурсы, производство: матер. IV междунар. симп. – Москва, Россия, 28-30 ноября, 2017 – С. 66-67.

21 Крутиков Е. Россия без боя занимает Африку. РИА Новости. [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://ria.ru/analytics/20180601/1521817838.html> (дата обращения 01.06.2018).

22 Ивлёв И.А., Константинов В.Л., Ястребков А.Ю. Результаты двухскважинного опыта по скважинному подземному выщелачиванию урана на месторождении Ньёта (Республика Танзания) // Уран: геология, ресурсы, производство: матер. IV междунар. симп. – Москва, Россия, 28-30 ноября, 2017 – С. 42-43.

23 Астахов Д. Лихачев рассказал о месте России на рынке зарубежного строительства АЭС. РИА Новости. [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://ria.ru/atomtec/20180703/1523860634.htm> (дата обращения 03.07.2018).

24 International Institute for Strategic Studies. Military Balance 2018 – London: Taylor & Francis Ltd. – 2018. – 517 p.

25 John S. McCain. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019 (H. R. 5515). [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://www.govtrack.us/congress/bills/115/hr5515> (дата обращения 19.10.2018).

26 Office of the Secretary of Defense. Nuclear Posture Review. February 2018. [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://media.defense.gov/2018/Feb/02/2001872886/-1/-1/1/2018-NUCLEAR-POSTURE-REVIEW-FINAL-REPORT.PDF> (дата обращения 19.10.2018).

27 Tyler Durden. Here's When China Will Win The Arms Race With The US, And How BofA Is Trading It. [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: <https://www.zerohedge.com/news/2018-05-25/heres-when-china-will-win-arms-race-us-and-how-bofa-trading-it> (дата обращения 19.10.2018).

## REFERENCES

1 Mashkovtsev G.A., Altunin O.V., Grebenkin N.A., Korotkov V.V., Ovsyannikova T.M., Rzhetskaya A.K. *Pervoocherednye zadachi i sovremennye tekhnologii geologorazvedochnykh rabot na uran* (Priority tasks and modern technologies of uranium exploration). *Razvedka i okhra nanedr = Prospect & protection of mineral resources*. **2017**. *11*. 8-22. (in Russ.)

2 Balikhin A.V. *O sostoyanii i perspektivakh razvitiya metodov pererabotki otrabotavshogo yadernogo topliva. Obzor* (About the state and perspectives for development of methods for spent nuclear fuel reprocessing. Review). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*. **2018**. *1*. 71-87 (in Russ.)

3 Bojtsov A.V. *Mirovaya uranovaya promyshlennost': sostoyanie, perspektivy razvitiya, vyzovy*

- vremeni (World uranium industry: status, development prospects, challenges of time). *Razvedka i okhra nenedr = Prospect & protection of mineral resources*. **2017**. 11. 4-8. (in Russ.)
- 4 Mashkovtsev G.A., Altunin O.V., Grebenkin N.A., Korotkov V.V., Ovsyannikova T.M., Rzhevskaya A.K. *Sostoyanie MSB urana Rossii i pervoocherednye zadachi eio osvoeniya i razvitiya* (The state of the mineral resource base of uranium in Russia and the primary tasks of its development and development). Uran: geologiya, resursy, proizvodstvo: mater. IV-oj mezhdunar. simpoz. (Uranium: Geology, Resources, Production: proceedings of IV-th International Symposium). – Moscow, Russia, 28-30 November **2017**. 61-62. (in Russ.)
- 5 The Nuclear Fuel Report: Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2015-2035 . World Nuclear Association, September 2015. [Electron resource]. **2015**. URL: <https://www.amazon.co.uk/Nuclear-Fuel-Report-Scenarios-Availability/dp/0993101909> (Date of access: 19.06.2018). (in Eng.)
- 6 Tarkhanov A.V. *Yadernaya ehnergetika: minimizirovat' riski* (Nuclear energy: to minimize the risks). *Redkiezemli = Rare Earths*. **2017**. 1 (8). 160-167. (in Russ.)
- 7 *Uranovaya ruda: svoystva, primeneniye, dobycha*. (Uranium ore: properties, use, mining) Site PROMDEVELOP [Electron resource]. **2017** URL: <https://promdevelop.ru/uranovaya-ruda-svoystva-primeneniye-dobycha/#harki> (Date of access: 19.06.2018). (in Russ.)
- 8 Turaev N.S., Zherin I.I. *Khimiya i tekhnologiya urana* (Uranium chemistry and technology). Moscow: Ore and Metals. **2006**. 396. (in Russ.)
- 9 Yazikov V.G., Zabaznov V.L., Petrov N.N., Rogov A.E. *Geotekhnologiya urana na mestorozhdeniyakh Kazakhstana* (Geotechnology of uranium at the deposits of Kazakhstan). Almaty. **2001**. 442. (in Russ.)
- 10 Nesterov Yu.V., Petrukhin N.P. *Sozdanie i razvitie mineral'no-syr'evy jbazy otechestvennoj atomnoj otrasli* (Creation and development of the mineral and raw materials base of the domestic nuclear industry). Moscow: Atomredmetzoloto. **2017**. 399. (in Russ.)
- 11 Rogov E.I., Rogov A.E. *Perspektivy razvitiya teorii i prakticheskogo primeneniya geotekhnologij* (Prospects for the development of the theory and practical application of geo-technologies). *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten' = Mining Information and Analytical Bulletin*. **2012**. 7. 136-142 (in Russ.)
- 12 Svyatetskij V.S., Polonyankina S.V., Ermakov A.G. *Uranodobyvayushchaya otrasl' Rossii: sostoyaniye i perspektivy razvitiya* (Uranium-mining industry of Russia: the state and prospects of development). *Razvedka i okhrana neder = Prospect & protection of mineral resources*. **2017**. 11. 22-26. (in Russ.)
- 13 *Novosti v Rossii. Tsvetnye metally* (News in Russia. Non-ferrous metals). *Metallosnabzheniye i sbyt = Metal supply and marketing*. **2018**. 2. 8-9. (in Russ.)
- 14 Solovlev A. A., Meshkov E. Yu., Bobyrenko N. A., Parygin I. A. *Opreделение vozmozhnosti sorbtionnogo kontsentrirrovaniya skandiya i redkozemel'nykh metallov iz vozvratnykh rastvorov skvazhennogo podzemnogo vyshchelachivaniya urana* (Identify of the possibility of sorption concentration of scandium and rare-earth metals from return solutions at producing uranium by downhole in situ leaching). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2018**. 7. 6-12. DOI 10.17580/tsm.2018.07.01. (in Russ.)
- 15 Serikov D. *Dolevaya rokirovka Uranium One ne sluchilas'* (Uranium One shared fate did not happen). Site Atameken business channel. [Electron resource]. **2018**. URL: <https://abctv.kz/ru/news/dolevaya-rokirovka-uranium-one-ne-sluchilas> (Date of access: 29.03.2018). (in Russ.)
- 16 Mashkovtsev G.A., Miguta A.K., Tarkhanov A.V., Shchtochkin V.N. *Uranovorudnyj potentsial Rossii 2015-2035* (Uranium-bearing potential of Russia 2015-2035). Moscow: All Russian Institute of Minerals. **2017**. 33. 119. (in Russ.)
- 17 Vorobev, A.G., Timokhin, D.V., Bugaenko, M.V., Popova, G.I. *Formirovaniye mekhanizmov ustojchivogo innovtsionnogo razvitiya atomnoj otrasli* (Formation of mechanisms of sustainable innovation development of atomic industry). *Tsvetnye Metally = Non-ferrous metals*. **2016**. 3. 8-12. DOI: 10.17580/tsm.2016.03.01. (in Russ.)
- 18 Tarkhanov A.V., Bugrieva E.P. *Krupnejshie uranovye mestorozhdeniya mira* (The world's largest uranium deposits). Moscow: All Russian Institute of Minerals. **2012**. 27. 118. (in Russ.)
- 19 Makar'ev L.B., Tsaruk I.I. *Mineral'no-syr'evaya baza urana yuzhnoj okrainy Sibirskoj platformy* (Mineral and raw materials base of uranium of the southern margin of the Siberian platform). *Uran: geologiya, resursy, proizvodstvo: mater. IV-oj mezhdunar. simpoz.* (Uranium: Geology, Resources, Production: proceedings of IV-th International Symposium). Moscow, Russia, 28-30 November, **2017** 60-61. (in Russ.)
- 20 Mironov Yu.B., Chan NgokTkhaj. *Uranovyj potentsial V'etnama* (Uranium potential of Vietnam). *Uran: geologiya, resursy, proizvodstvo: mater. IV-oj mezhdunar. simpoz.* (Uranium: Geology, Resources, Production: proceedings of IV-th International Symposium). – Moscow, Russia, 28-30 November, **2017**., 66-67. (in Russ.)
- 21 Krutikov E. *Rossiya bez boya zanimaet Afriku* (Russia takes up Africa without a fight). RIA Novosti. [Electron resource]. **2018**. URL:<https://ria.ru/analytics/20180601/1521817838.htm> (Date of access: 01.06.2018). (in Russ.)
- 22 Ivlev I.A., Konstantinov V.L., Yastrebkov A.Yu. *Rezultaty dvukhskvazhinnogo opyta po skvazhinnomu podzemnomu vyshchelachivaniyu urana na mestorozhdenii N'yota* (*Respublika Tanzaniya*) (The results of the two-well experience in the wellbore underground uranium leaching at the Nyota deposit (Republic of Tanzania)). *Uran: geologiya, resursy, proizvodstvo: mater. IV-oj mezhdunar. simpoz.* (Uranium: Geology, Resources, Production: proceedings of IV-th International Symposium). – Moscow, Russia, 28-30 November, **2017**. 42-43. (in Russ.)
- 23 Astakhov D. *Likhachiov rasskazal o meste Rossii na rynke zarubezhnogo stroitel'stva AEhS* (Likhachev spoke about the place of Russia in the market of foreign construction of nuclear power plants). RIA Novosti. [Electron resource]. **2018**. URL:

<https://ria.ru/atomtec/20180703/1523860634.html> (Date of access: 03.07.2018). (in Russ.)

24 International Institute for Strategic Studies. Military Balance 2018. London: Taylor & Francis Ltd. **2018**. 517. ISBN10 1857439554. (in Eng.)

25 John S. McCain. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019 (H. R. 5515). [Electron resource]. **2018**. URL: <https://www.govtrack.us/congress/bills/115/hr5515> (Date of access: 19.10.2018). (in Eng.)

26 Office of the Secretary of Defense. Nuclear Posture Review. February 2018. [Electron resource]. **2018**. URL: <https://media.defense.gov/2018/Feb/02/2001872886/-1/-1/1/2018-NUCLEAR-POSTURE-REVIEW-FINAL-REPORT.PDF> (Date of access: 19.10.2018). (in Eng.)

27 Tyler Durden. Here's When China Will Win The Arms Race With The US, And How BofA Is Trading It. [Electron resource]. **2018**. URL: <https://www.zerohedge.com/news/2018-05-25/heres-when-china-will-win-arms-race-us-and-how-bofa-trading-it> (Date of access: 19.10.2018). (in Eng.)