



**Экономический
и Социальный Совет**

Distr.: General
15 February 2016
Russian
Original: English

Европейская экономическая комиссия

Комитет по устойчивой энергетике

Группа экспертов по классификации ресурсов

Седьмая сессия

Женева, 26–29 апреля 2016 года

Пункт 16 предварительной повестки дня

Тематические исследования и тестирование

Рамочной классификации ископаемых

энергетических и минеральных запасов и ресурсов

Организации Объединенных Наций 2009 года

**Применение РКООН-2009 к фосфоритам –
урановые ресурсы: тематическое исследование
по проектам в эс-Себаие, долина Нила, Египет**

**Подготовлено г-ном Мохамедом Монтасером, Управление
по ядерным материалам, Египет**

Резюме

Настоящий документ представляет собой тематическое исследование, в котором рассматривается применение Рамочной классификации ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов Организации Объединенных Наций 2009 года (РКООН-2009) к урановым ресурсам, содержащимся в фосфоритах на месторождении эс-Себаия в долине Нила, Египет. Фосфориты являются важными источниками питательных веществ для растений и представляют собой один из наиболее значительных источников нетрадиционных ресурсов урана в мире. Проекты в восточной и западной эс-Себаие являются одними из наиболее важных источников фосфоритов в Египте. Согласно оценкам, количества фосфоритов для этих проектов составляют 2,1 млрд. т, а урана – около 107 000 тонн. Согласно РКООН-2009, фосфориты относятся к классу коммерческих проектов и потенциально коммерческих проектов, а содержащийся в них уран – отдельного потенциально коммерческого проекта. В настоящее время в рамках этих проектов ведется добыча фосфоритов и планируется построить крупный промышленный комплекс по производству фосфорной кислоты и

GE.16-02120 (R) 090316 110316



* 1 6 0 2 1 2 0 *

Просьба отправить на вторичную переработку



удобрений. В ходе производства фосфорных удобрений можно обеспечить получение урана, выступающего в качестве сопутствующего продукта. Таким образом, эти проекты будут играть важную роль в обеспечении продовольственной и энергетической безопасности Египта, а также всего региона. Цель настоящего тематического исследования заключается в демонстрации применения РКООН-2009 в ходе классификации количеств и представления отчетности о них в рамках проектов производства нескольких сырьевых товаров, например такого проекта, как проект, который реализуется в долине Нила и в ходе которого в качестве сопутствующих продуктов добываются фосфориты и уран.

I. Введение

1. Настоящее тематическое исследование было подготовлено г-ном Мохамедом Монтасером, Управление по ядерным материалам Египта, при технической поддержке со стороны г-на Харикришнана Тулсидаса, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ).

2. В настоящее время мир сталкивается с беспрецедентной энергетической проблемой. Согласно прогнозам, глобальный энергетический спрос возрастет более чем на 50% к 2040 году [1]. Острая необходимость сокращения выбросов парниковых газов потребует того, чтобы значительная часть этого роста обеспечивалась за счет энергетических источников с низким содержанием углерода. Независимые мировые учреждения считают, что эту цель будет весьма сложно достичь без значительного расширения масштабов ядерной энергетики. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) подчеркивает срочную необходимость использования всех имеющихся технологий с низким уровнем выбросов углерода для предотвращения изменения климата. Наряду с улавливанием и хранением углерода (УХУ) ядерная энергетика и возобновляемая энергетика являются основными элементами энергетической системы с низким уровнем выбросов углерода [2]. Международное энергетическое агентство (МЭА) и Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) считают, что к 2050 году ядерный потенциал потребует удвоить [3]. Вместе с ожидаемым ростом производства ядерной энергии потребность в уране также резко увеличится в будущем [4]. Подобная ситуация потребует рассмотрения всех имеющихся вариантов поставок урана в форме как традиционных, так и нетрадиционных ресурсов.

3. Урановые ресурсы широко классифицируются в качестве традиционных или же нетрадиционных. Отнесение урана к категории традиционных или же нетрадиционных ресурсов зависит главным образом от экономических аспектов его добычи в рамках конкретного проекта проведения горных работ/проекта извлечения полезных ископаемых. К традиционным ресурсам относятся ресурсы, которые имеют устоявшуюся историю их производства, когда уран выступает в качестве основного продукта, сопутствующего продукта или же важного побочного продукта (например, в ходе добычи меди и золота). В качестве нетрадиционных ресурсов рассматриваются весьма низкосортные ресурсы или ресурсы, из которых уран может извлекаться лишь в качестве второстепенного побочного продукта [4]. В целом к категории нетрадиционных ресурсов относятся ресурсы, которые имеют низкую или очень низкую сортность (в среднем 10–200 частей на миллион (ч/млн) урана (U)) и которые не могут разрабатываться исключительно в целях добычи урана.

4. При извлечении урана из нетрадиционных ресурсов потребуется учитывать экономические факторы, такие как стоимость производства и тенденции на первичном рынке урана. В некоторых случаях эта деятельность может осуществляться в рамках широкомасштабных операций, для которых низкая сортность руды частично компенсируется эффектом масштаба. К числу наиболее значительных нетрадиционных ресурсов урана относятся морские воды и месторождения фосфоритов [5, 6, 7].

5. В октябре 2007 года Президент Египта объявил о своем решении приступить к осуществлению мирной ядерной программы и построить ряд ядерных реакторов в интересах диверсификации и обеспечения энергетических ресурсов. Основываясь на этом решении, Управление по ядерным материалам Египта также приступило к переоценке урановых ресурсов Египта. По состоянию на сегодняшний день наиболее важными урановыми ресурсами в Египте считаются те ресурсы, которые связаны с фосфоритной рудой.

II. Извлечение урана из фосфоритной руды

6. Энергетическая, продовольственная и водная безопасность, а также охрана окружающей среды, безопасность и здоровье человека относятся к числу важнейших факторов, определяющих устойчивое развитие в XXI веке; поэтому извлечение урана в качестве сопутствующего продукта из фосфорной кислоты является особенно интересным примером, различные аспекты которого непосредственно относятся к вопросу об устойчивом развитии [8].

7. Фосфоритная руда является одним из наиболее важных нетрадиционных ресурсов урана в мире. Содержание урана в фосфоритной руде может составлять от 20 ч/млн до 500 ч/млн. Результаты нескольких исследований свидетельствуют о том, что средняя концентрация урана в целом близка к 100 ч/млн в большей части фосфатных пород. В апреле 2015 года в Международном атласе месторождений урана (УДЕПО) Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) указывалось, что месторождения фосфоритов содержат 13,8 млн. т урана [9]. Месторождения фосфоритов классифицируются по двум основным категориям: магматические фосфоритные породы (13%), которые обнаружены в России, Южной Африке и Бразилии, и осадочные фосфоритные породы (87%), которые найдены в Марокко, Алжире, Иордании, Египте и Соединенных Штатах Америки [10]. Фосфатные минералы обоих типов руды принадлежат к группе апатитов, наиболее распространенными представителями которой являются фторапатит и франколит.

8. В процессе влажного химического производства фосфорных удобрений в качестве промежуточного продукта выделяется фосфорная кислота. В ходе этого процесса около 80–90% урана, содержавшегося в фосфоритной руде, переходит в фосфорную кислоту. Концентрация урана во влажной фосфорной кислоте может изменяться от 30 до 350 мг/л в зависимости от первоначальной концентрации урана в фосфоритной руде [11, 12]. Согласно прогнозам, начиная с 2014 года глобальный спрос на фосфорную кислоту будет возрастать на 2,4% в год и составит 48,3 млн. т P_2O_5 в 2019 году. В краткосрочной перспективе потенциальное глобальное предложение фосфорной кислоты и спрос на нее будут уравнивать друг друга, при этом в конце 2018 – начале 2019 годов будет отмечаться умеренное превышение предложения над спросом. В период 2014–2019 годов планируется построить около 30 новых предприятий для обработки фосфатов. На долю Китая и Марокко в совокупности будет приходиться около половины этих предприятий. Другие предприятия будут сооружаться в Саудовской Аравии, Бразилии и Индии [13].

9. Уран может извлекаться из фосфорной кислоты несколькими способами, например такими, как осаждение [14], использование жидких мембран [15], экстракция растворителем [16] и использование твердых пропитанных частиц [17]. Однако экстракция растворителем, которая широко практиковалась в течение 1970-х и 1980-х годов, является единственным методом, широко апробированным в условиях промышленной эксплуатации. В настоящее время около

72% добываемых во всем мире фосфоритных пород используется для производства фосфорной кислоты мокрым способом, а степень извлечения урана из фосфоритов составляет 83,7% [18]. Извлечение урана из дигидратной фосфорной кислоты осуществляется, как правило, на основе такой надежно отработанной технологии, как использование экстракции растворителем [11].

10. Несмотря на аварию, случившуюся в марте 2011 года на атомной электростанции «Фукусима Даичи» в Японии, ядерная энергия, как ожидается, по-прежнему будет занимать важное место в будущей структуре энергетики. Для дальнейшего развития ядерной энергетики в контексте нынешнего состояния технологий использования атомных электростанций потребуется вести разведку нетрадиционных ресурсов, поскольку запасы первичных ресурсов урана являются ограниченными [19]. Среди прочих нетрадиционных ресурсов особое внимание привлекают фосфоритные руды. Основываясь на нынешних показателях производства фосфорной кислоты, можно отметить, что должным образом организованное извлечение урана из нее могло бы обеспечить до 20% мирового объема ежегодного потребления урана [20].

11. В результате падения цен на уран к середине 1990-х годов технологические операции стали нерентабельными и все производство урана из фосфорной кислоты прекратилось. Цена на уран возросла приблизительно с 10 долл. США/фунт U_3O_8 (26 долл. США/кгU), достигла пикового значения в 138 долл. США/фунт U_3O_8 (359 долл. США/кгU) в июне 2007 года и опустилась до нынешних долгосрочных и спотовых значений в районе 45 долл. США/фунт U_3O_8 (117 долл. США/кгU) и 35 долл. США/фунт U_3O_8 (91 долл. США/кгU) соответственно. Извлечение урана из фосфорной кислоты характеризуется многочисленными преимуществами, включая следующие а) положительная оценка данной технологии по итогам ее применения на многих предприятиях; б) отсутствие затрат на горные работы; в) отсутствие каких-либо особых трудностей с получением разрешений на его производство; г) сохранение ресурса, который в противном случае был бы потерян навсегда; д) наличие других ценных элементов (такие, как торий и редкоземельные элементы (РЗЭ)), которые также могут быть извлечены из той же жидкости [21]. Однако при извлечении урана из фосфорной кислоты приходится сталкиваться с различными проблемами, например с такими, как: а) колебание цен на уран; б) неблагоприятное общественное мнение и соответствующая политическая поддержка (как, например, в результате аварии, произошедшей на атомной электростанции «Фукусима Даичи» в Японии); в) нежелание промышленных предприятий прибегать к инновациям; и г) стремление промышленных предприятий избегать рисков.

III. Фосфоритные ресурсы Египта

12. Фосфоритные месторождения в Египте являются частью ближневосточно-североафриканской фосфогенной провинции позднего мелового-палеогенового периода. Они разделены в восточно-западном направлении тремя фациальными поясами (рис. 1) [22]:

а) фосфоритами северного фациального пояса, которые не имеют никакого экономического потенциала и распространяются от оазиса Бахария до Синай в виде тонких слоев, состоящих, главным образом, из карбонатных и песчаных фаций;

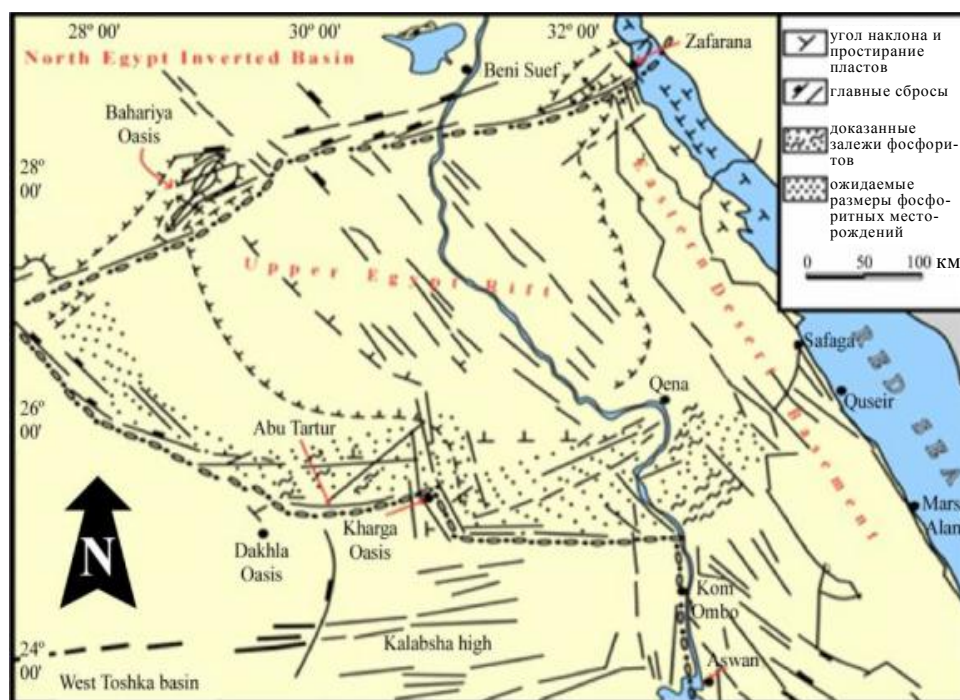
б) фосфоритами центрального фациального пояса, которые находятся в наиболее экономически выгодных залеганиях и сосредоточены в следующих районах:

- i) на побережье Красного моря от Сафаги до земельной полосы Ку-сейр;
- ii) в долине Нила между Идфу и Кеной;
- iii) в Западной пустыне на плоскогорье Абу-Тартур (район Новой долины);

с) фосфоритами южного фациального пояса. Породы этих фаций связаны с железорудными залежами среди водных отложений.

Рис. 1

Распределение фосфоритных месторождений в Египте

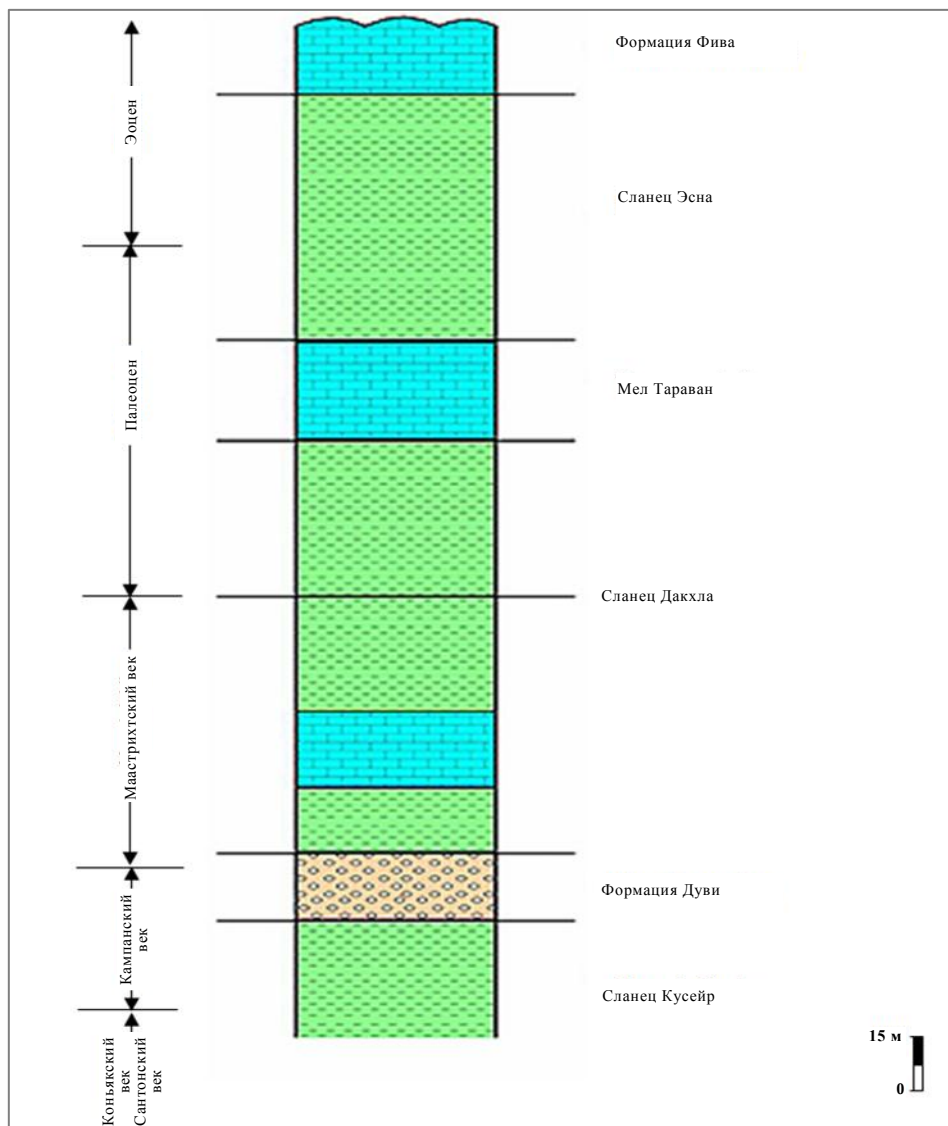


13. Франколит является основным фосфатным минералом месторождения в долине Нила, а фторапатит – месторождения в Новой долине [23].

IV. Фосфоритное месторождение в долине Нила

14. Фосфоритное месторождение в долине Нила расположено в районе с координатами от $25^{\circ} 30'$ до $26^{\circ} 30'$ с.ш. и от $32^{\circ} 30'$ до $33^{\circ} 30'$ в.д. по обе стороны долины Нила [24]. Было предпринято ряд попыток классифицировать последовательность верхнего мела – нижнего эоцена в регионе долины Нила. Общая последовательность осадка накопления в регионе долины Нила была подразделена на формации, отраженные на рис. 2 (снизу вверх) [25].

Рис. 2

Обобщенный стратиграфический разрез в регионе долины Нила

15. Формация Дуви в регионе долины Нила была разделена на три геологических компонента (снизу вверх):

- а) геологический компонент Махамид: состоит из сланца, глины, песчаника, углеродистого сланца с несколькими фосфатными прослойками;
- б) геологический компонент Себаия: состоит из кремнисто-карбонатных фосфоритных пластов с включениями кремнистых полос и линз, переходящих вверх к вкраплениям сланца, тонкозернистого известняка и мергеля;
- с) геологический компонент Адайма: состоит из мергеля, песчаника и ряда пластов тонкозернистого известняка и фосфоритов.

16. Нижняя часть формации Дуви (геологический компонент Махамид) относится к кампанскому веку. Средняя часть включает также в себя породы Маастрихтского и Кампанско-Маастрихтского веков. Верхний фосфатный компонент Адайма содержит породы Датского и Маастрихтского веков [26]. С учетом своей литографии формация Дуви в регионе долины Нила подразделяется на три геологических компонента [27]:

- а) нижний геологический компонент, состоящий из кварцевого песчаника и кремнистых сланцев;
- б) средний геологический компонент, состоящий из мягкого, ламинированного и богатого органическими веществами черного сланца;
- в) верхний геологический компонент, который состоит, главным образом, из фосфатного песчаника.

17. *Химический и минералогический состав:* химический состав фосфоритных пластов в районе Идфу-Кены варьируется в зависимости от характера цементирующих их материалов (таблица 1). Фосфоритные компоненты представлены фосфорными комочками и фосфатными органическими остатками с преобладанием первых. Размер зерен колеблется в пределах 0,1–2 мм, при этом преобладающие размеры составляют 0,2–0,4 мм. Фосфатный материал в комочках представлен коллофаном, на 49–60% состоящий из породы с меньшими количествами мелкодисперсного органического материала и крупинок пирита [24].

18. В биоморфных фосфатизированных костях и останках помимо фосфатного материала содержится значительное количество органических примесей. В породах присутствуют пирит и в меньших количествах карбонаты, а также нефосфатные зерна кварца (0,05–1 мм). Цементирующий материал фосфоритных зерен состоит из карбонатов, глин и кремнезема, перемешанных в различных пропорциях, с примесями доломита и ферродоломита. Карбонаты, глина и карбонатно-глинистый цемент сингенетичны, а кремнистый цемент сформировался на более поздних стадиях диагенеза [24].

Таблица 1

Химический состав (в %) фосфоритного месторождения эс-Себаия

<i>Соединение</i>	<i>Карбонатные разновидности</i>	<i>Карбонатно-кремнистые разновидности</i>	<i>Глинисто-карбонатные разновидности</i>
P ₂ O ₅	22,7	21,24	20,28
CaO ₂	48,06	38,44	40,16
SiO ₂	4,80	13,05	12,07
Al ₂ O ₃	0,32	0,42	0,95
Fe ₂ O ₃	0,94	1,03	1,50
MgO	0,32	0,44	0,86
SO ₃	0,20	—	—
CO ₂	17,70	11,10	12,06
H.O.*	4,86	14,08	12,04

* H.O. — нерастворимый осадок.

IV. Нерастворимый осадок

19. Карбонатная разновидность фосфоритов характеризует горные пласты среднего геологического компонента и состоит из следующих минералов: фосфатные минералы (52%), кальцит (38,3%), доломит (1,4%), кварц (4,2%), глина (2%), гипс (1,2%) и лимонит (1%). Содержание карбонатно-кремнистой и кремнисто-карбонатной разновидностей является практически одинаковым в слоях среднего геологического компонента в районах Серай, Эль-Гир и Машаш, и в целом они являются наиболее распространенными минералами в данном регионе. Карбонатно-глинистые и глинисто-карбонатные разновидности руды обычно преобладают в слоях верхней группы [24].

20. Фосфориты, которые попадают в зону выветривания и которые в наибольшей степени затрагиваются процессами химического выветривания, производят выщелоченные типы отложений, в которых P_2O_5 обогащен до 25–28% и которые наиболее выгодны с экономической точки зрения для горной разработки в районе эль-Махамид. В целом в зоне выветривания все типы цементирующих материалов содержат такие супергенные минералы, как лимонит и гипс. Результаты недавних испытаний, проведенных в отношении фосфоритного месторождения в долине Нила, свидетельствуют о важности лимонита и гипса в современных процессах производства удобрений и, таким образом, об их ценности в качестве продуктов, которые могли бы представлять более значительный экономический интерес в сравнении с экспортными фосфоритами [24].

21. *Добыча и переработка:* добыча фосфоритной руды в районах восточной и западной эс-Себаие в долине Нила осуществляется главным образом открытым способом. Вскрыша удаляется либо путем соскоба, или же с помощью буровзрывных работ в зависимости от характера породы. Фосфориты добываются путем проведения буровзрывных работ и удаляются грузовиками на дробилку, где они измельчаются до менее чем 5 см и просеиваются. Толщина вскрыши колеблется в пределах от 20 до 40 метров [24].

22. В восточной эс-Себаие фосфоритная руда подвергается дроблению, а затем истиранию и промыванию для удаления глинистой мелкой зернистой фракции (около 10–12% по весу, пробные образцы содержат около 12–18% P_2O_5) и твердой кремнистой крупнозернистой фракции (40–45% по весу, пробные образцы содержат 18–22% P_2O_5). Впоследствии руда измельчается и подвергается сухой сортировке для удаления крупных частиц кремнистой фракции в целях получения товарного концентрата, т.е. мелкой фракции (пробные образцы содержат 28–30% P_2O_5). При таком производстве борьба с загрязнением воздуха представляется весьма сложной задачей [24].

23. В западной эс-Себаие используется флотационная установка, на которой осуществляется прямая и обратная флотация руды для ее обогащения. Однако по техническим и экономическим причинам флотационная установка была заменена оборудованием для дробления, сортировки и дешламации с целью удаления глинистой фракции (около 20–25% по весу, пробные образцы содержат 12–18% P_2O_5) и крупнозернистой фракции. Большая часть продукции, изготовленной в этом районе, потребляется на местном уровне для производства фосфорных удобрений [24].

V. Проекты в восточной и западной эс-Себаие, долина Нила: классификация количеств с использованием РКООН-2009

24. Рамочная классификация ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов Организации Объединенных Наций 2009 года (РКООН-2009) является основывающейся на проектах системой, которая применяется в отношении всех энергетических и минеральных запасов и ресурсов. Она была разработана для удовлетворения в максимально возможной степени потребностей, связанных с составлением исследований по вопросам энергетического и минерального сырья, управлением ресурсами, корпоративными бизнес-процессами и со стандартами финансовой отчетности [28].

25. Согласно РКООН-2009, количества классифицируются на основе трех фундаментальных критериев: экономической и социальной жизнеспособности проекта (E), статуса и обоснованности проекта освоения месторождения (F) и геологической изученности (G) с использованием числовой системы кодов. Комбинации этих трех критериев создают трехмерную систему. Категории и подкатегории являются основными элементами этой системы и объединяются в форме «классов».

26. *Оценка количеств фосфоритных руд:* количества фосфоритных руд проектах в восточной и западной эс-Себаие в долине реки Нил классифицируются в качестве доказанных запасов, отмеченных ресурсов и предполагаемых ресурсов. На этом месторождении находится около 49 млн. т доказанных запасов фосфоритной руды (34 млн. т для проекта в восточной эс-Себаие и 15 млн. т проекта в западной эс-Себаие). Кроме того, имеется около 180 млн. т отмеченных ресурсов фосфатов в отношении обоих проектов в эс-Себаие (80 млн. т для восточного проекта и 100 млн. т для западного проекта). Размер предполагаемых ресурсов для двух проектов в эс-Себаие составляет около 2 384 млн. тонн. При том предположении, что добывается 80% ресурсов, в общей сложности 2 100,2 млн. т фосфоритных руд классифицируются согласно РКООН-2009 в качестве количеств G1, G2 и G3. Около 515,8 млн. т относится к категории дополнительных количеств на месте залегания.

27. Горнопромышленная компания «Эль-Наср» ведет добычу фосфоритной руды на основе проекта в эс-Себаие на протяжении многих лет, и в 2013 году объем производства составил около 3 млн. т [24]. Добываемые количества фосфоритной руды поступают непосредственно на рынок. Количества, сообщаемые для действующей в настоящее время шахты и оцениваемые в качестве доказанных запасов, могут рассматриваться в качестве подкатегории F1.1 – «В настоящее время ведется добыча». Оценочные количества отмеченных и предполагаемых ресурсов могут рассматриваться в качестве подкатегории F2.1 – «Продолжается реализация проекта с целью обоснования разработки в обозримом будущем».

28. Как ожидается, нынешнее экономическое и финансовое положение окажет в ряде аспектов воздействие на спрос на удобрения. Возвращение к более устойчивым ценам на сырьевые товары позволяет фермерам с меньшим риском вкладывать средства в удобрения, чем год назад: это приводит к более быстрому восстановлению спроса на фосфорные (P) и калийные (K) удобрения, чем это ожидалось ранее. В сочетании с довольно привлекательными ценами на сельскохозяйственную продукцию в первой половине 2014 года объем мирового потребления удобрений в 2014–2015 году увеличился на 2% в годовом исчисле-

нии до 185 млн. т питательных веществ для растений (в совокупности $N+P_2O_5+K_2O$).

29. Как предполагается, в 2014/15 годах объем потребления фосфатов восстановится до 41,3 млн. т, что представляет собой рост в размере 2,5% в годовом исчислении. Согласно прогнозам, в 2019 году глобальный объем поставок фосфоритной руды увеличится до 255 млн. т, что соответствует росту в размере 16% по сравнению с 2014 годом [13]. Это означает, что фосфоритная руда, оцениваемая в качестве доказанных запасов для проектов в эс-Себаие, может быть отнесена к подкатегории E1.1 – «Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий». Количества, оцениваемые в качестве отмеченных и предполагаемых ресурсов, могут быть отнесены к категории E2 – «Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем». Было проведено тщательное рассмотрение осей E, F и G РКООН-2009, после чего эти ресурсы были отнесены к классу коммерческих проектов и потенциально коммерческих проектов, как это указывается в таблице 2.

30. **Оценка количеств урана:** фосфоритные руды считаются нетрадиционными урановыми ресурсами, поскольку уран извлекается в качестве сопутствующего или побочного продукта вместе с основным продуктом – фосфатом. Это означает, что геологическая изученность урана в значительной степени зависит от геологической изученности фосфоритных месторождений.

31. В настоящее время горнопромышленная компания «Эль-Наср» ведет горные разработки, и ежегодный объем добычи составляет около 3 млн. т фосфоритной руды. Вся добываемая на данный момент продукция продается в качестве фосфоритной руды. В 2010 году эта компания в сотрудничестве с одной индийской компанией-партнером завершила проведение анализа технико-экономической целесообразности производства фосфорной кислоты и получила разрешения, необходимые для строительства промышленного комплекса по производству фосфорных удобрений на участке в эс-Себаие.

32. Ввиду нестабильности на египетских рынках вследствие политической ситуации, сложившейся в 2011 году, горнопромышленная компания «Эль-Наср» остановила работы по строительству предприятия по производству фосфорной кислоты. В начале 2015 года президент Египта дал распоряжение о возобновлении работ по строительству фосфатного комплекса в эс-Себаие. Строительство фосфатного промышленного комплекса, который, как ожидается, будет производить около 200 000 т P_2O_5 /год в виде фосфорной кислоты, должно быть завершено к концу 2017 года, при этом размер капитальных затрат составит порядка 400 млн. долл. США. Как ожидается, в соответствии с принятой в недавнее время в Египте политикой обеспечения максимальной добавленной стоимости до экспорта сырьевых материалов объем производства фосфорной кислоты может постепенно увеличиваться в будущем.

Таблица 2

Оценочные количества фосфоритной руды для проектов в восточной и западной эс-Себаие, долина реки Нил, Египет, по состоянию на 31 декабря 2013 года

Район	Проект	Среднее содержание P ₂ O ₅ , %	Стандартная модель КРИПСКО	Класс РКООН-2009	Подкласс РКООН-2009	Категории РКООН-2009			Количества фосфоритной руды (млн. т)	Оценочный объем добычи фосфоритной руды, млн. т
						E	F	G		
Месторожде- ние в долине реки Нил	Восточная эс-Себаия	29–30	Доказанные запасы	Коммерческий проект	Добывающий	1.1	1.1	1	34,0	34,0
			Отмеченные ресурсы	Потенциально коммерческий проект	Ожидающий разработки	2	2.1	2	80,0	64,0
			Предполагаемые ресурсы					3	1 674,0	1 339,2
			Дополнительные количества на месте залегания			3.3	4	1, 2, 3		350,8
	Западная эс-Себаия	27	Доказанные запасы	Коммерческий проект	Добывающий	1.1	1.1	1	15,0	15,0
			Отмеченные ресурсы	Потенциально коммерческий проект	Ожидающий разработки	2	2.1	2	100,0	80,0
			Предполагаемые ресурсы					3	710,0	568,0
			Дополнительные количества на месте залегания			3.3	4	1, 2, 3		162,0
	Общие количества (за исключением дополнительных количеств на месте залегания)									2 100,2
	Общие количества (включая дополнительные количества на месте залегания)									2 613,0

33. Среднее содержание урана для фосфоритных проектов в эс-Себаие составляет около 90 ч/млн [24, 29–31]. Предполагается, что около 70% этого объема производства в конечном итоге может использоваться для производства фосфорной кислоты на месте. Это допущение основывается на том факте, что в настоящее время в глобальном исчислении в среднем около 72% объема фосфоритных руд используется для производства фосфорной кислоты. Кроме того, предполагается, что 90% урана, содержащегося в фосфоритных рудах, будут использоваться для производства фосфорной кислоты, а оставшаяся часть останется в таком сопутствующем продукте, как фосфогипс. И наконец, предполагается, что 90% урана может извлекаться из фосфорной кислоты на основе используемых в настоящее время технологий. После учета всех вышеперечисленных факторов, касающихся извлечения урана, можно утверждать, что, согласно оценкам, около **107 173,20** т урана в конечном итоге может быть извлечено из фосфоритных руд. Этот уран может быть отнесен к категориям G1, G2 и G3 на основе геологической достоверности, определенной для фосфоритной руды (таблица 3).

34. Статус и обоснованность проекта извлечения урана из фосфорной кислоты непосредственно зависит от возможности разработки фосфоритного месторождения. Фосфоритная руда используется для производства фосфорной кислоты, из которой может быть извлечен уран. В целом во влажном процессе производства кислоты фосфоритная руда должна характеризоваться следующими параметрами: i) $P_2O_5 \geq 30\%$; ii) отношение $CaO/P_2O_5 < 1,6$; iii) $MgO < 1\%$, а максимальное содержание Fe_2O_3 и Al_2O_3 должно составлять 2,5%. Так как руду, которая не удовлетворяет этим требованиям, невозможно использовать непосредственно, требуется провести определенные операции по ее обогащению [32].

35. В настоящее время проводится предварительная технико-экономическая оценка возможностей извлечения урана из фосфоритных руд, добываемых на участке в эс-Себаие. Планируется также приступить к проведению предварительного исследования технической осуществимости проекта. Поэтому количества урана, которые можно получить на основе осуществления проекта по добыче фосфоритных руд в эс-Себаие, относятся к категории F2.1 – «Продолжается реализация проекта с целью обоснования разработки в обозримом будущем».

36. Как ожидается, эксплуатационные расходы (ЭР) на производство урана с помощью этого процесса составят около 40–50 долл. США/фунт U_3O_8 (100 долл. США/кгU) при том предположении, что сметные расходы равны расходам по аналогичным операциям в других странах мира [33], которые близки к долгосрочным и спотовым ценам на уран, существовавшим в августе 2015 года (35–45 долл. США/фунт U_3O_8 или 90–117 долл. США/кгU). Это означает, что извлечение урана из фосфоритных руд, добываемых на участке в эс-Себаие, может быть отнесено к категории E2 – «Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем».

37. Помимо общих количеств, которые могут быть получены с помощью современных проверенных технологий, около **127 996,80** т урана не будет извлечено и может быть отражено в качестве «дополнительных количеств на месте залегания». Это значение отражает значительный объем урана. По мере развития инновационных технологий можно будет обеспечить извлечение этих объемов урана либо частично, либо полностью и, таким образом, повысить продуктивность и устойчивость технологических операций. Количества урана, содержащегося на фосфоритном месторождении в долине реки Нил, отражены в таблице 3.

VI. Резюме и выводы

38. Проекты в восточной и западной частях месторождения эс-Себаия в долине Нила выступают в качестве наиболее важных источников фосфоритных руд в Египте. Согласно оценкам, количества фосфоритных руд по этим проектам составляют 2,1 млрд. тонн. Эти количества классифицируются в качестве коммерческого проекта и потенциально коммерческого проекта согласно РКООН-2009. В рамках этих проектов ведется добыча фосфоритных руд и планируется строительство крупного промышленного комплекса для производства фосфорной кислоты и удобрений. Таким образом, эти проекты внесут значительный вклад в обеспечение продовольственной безопасности Египта, а также всего региона.

Таблица 3
**Урановые ресурсы для проектов в восточной и западной эс-Себаие, долина Нила, Египет,
 по состоянию на 31 декабря 2015 года**

Район	Проект	Среднее содержание U в ч/млн	Стандартная модель КРИРСКО	Класс РКООН-2009	Подкласс РКООН-2009	Категории РКООН-2009			Оценочный объем U, извлекаемого из фосфорной кислоты (tU)		
						E	F	G			
Месторождение в долине Нила	Восточная эс-Себаия	90	Измеренные ресурсы	Потенциально коммерческий проект	Ожидающий разработки	2	2.1	1	1 735,0		
			Отмеченные ресурсы					2	3 265,9		
			Предполагаемые ресурсы					3	68 339,4		
			Дополнительные количества на месте залегания			3.3	4	1, 2, 3	87 579,7		
	Западная эс-Себаия		Измеренные ресурсы	Потенциально коммерческий проект	Ожидающий разработки	2	2.1	1	765,5		
			Отмеченные ресурсы					2	4 082,4		
			Предполагаемые ресурсы					3	28 985,0		
			Дополнительные количества на месте залегания			3.3	4	1, 2, 3	40 417,1		
			Общие количества (за исключением дополнительных количеств на месте залегания)						107 173,2		
			Общие количества (включая дополнительные количества на месте залегания)						235 170,0		

39. Фосфоритные руды являются одним из наиболее важных нетрадиционных ресурсов урана. Поскольку уран извлекается из фосфоритов в виде сопутствующего или побочного продукта, классификация урана согласно РКООН-2009 в этой связи связана с классификацией ресурсов фосфоритов. Согласно оценкам, общее количество урана, содержащегося в месторождении в долине Нила, составляет 107 173 т, и этот объем следует рассматривать в качестве самого крупного источника урана в Египте. С учетом текущей проектной деятельности, такой как предварительный анализ экономической целесообразности и предварительная технико-экономическая оценка проекта, этот уран можно отнести к классу потенциально коммерческих проектов. Кроме того, 127 996 т урана рассматриваются в качестве дополнительных количеств на месте залегания, при этом, по крайней мере, часть этого объема может быть извлечена за счет использования инновационных методов и повышения эффективности добычи и переработки сырья.

40. С учетом того, что Египет заявил о своем намерении внедрять системы ядерной энергетики с целью диверсификации энергоснабжения страны, фосфоритные проекты в долине Нила, с помощью которых уран может быть получен в качестве сопутствующего продукта, могут рассматриваться в качестве наиболее передовых проектов для коммерческих поставок урана в стране. Принимая во внимание тот факт, что на сегодняшний день ни одного из других традиционных ресурсов урана, которые могут быть классифицированы в качестве потенциально коммерческого проекта, в Египте выявлено не было, уран, содержащийся в месторождении в долине реки Нила, играет весьма важную роль в обеспечении энергетической безопасности Египта.

41. Цель настоящего тематического исследования заключается в демонстрации применения РКООН-2009 в ходе классификации количеств и представления отчетности о них в рамках проектов производства нескольких сырьевых товаров, например такого проекта, как проект, который реализуется в долине Нила и в ходе которого в качестве сопутствующих продуктов добываются фосфориты и уран. Использование РКООН-2009 для целей классификации представления отчетности позволяет повысить уровень ясности направляемой отчетности и демонстрирует, что фосфатные и урановые проекты играют важнейшую роль в обеспечении продовольственной и энергетической безопасности Египта. Они позволяют в значительной степени способствовать рациональному использованию природных ресурсов и их своевременной разработке в интересах социально-экономического развития Египта.

Библиографические ссылки

- [1] United States Energy Information Administration, International Energy Outlook 2013.
- [2] Pachauri, R. K., Edenhofer, O. and Minx, J. C. "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". (2014): 151.
- [3] International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap Nuclear Energy 2014 edition.
- [4] OECD/NEA IAEA, Uranium 2014: Resources, Production and Demand (2014).

- [5] Sophie G., Anne B., Gilles M., Tommy E., Florian F., “A critical assessment of global uranium resources, including uranium in phosphate rocks, and the possible impact of uranium shortages on nuclear power fleets”. *Annals of Nuclear Energy Journal* 58 (2013) 213-220.
- [6] Kim J., Tsouris C., Mayes R.T., Oyola Y., Saito T., Janke C.J., Dai S., Schneider E., Sachde D., “Recovery of uranium from seawater: a review of current status and future research needs”. *Separation Science and Technology* 48 (2013) 367-387.
- [7] Kratz S., and Schnug E., “Rock phosphates and P fertilizers as sources of uranium contamination in agricultural soils”. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Federal Agricultural Research Center, Germany, *Uranium in the Environment* (2006) 57-67. doi: 10.1007/3-540-28367-65.
- [8] Andrea E.U., Ewald S., Horst-Michael P., and Emmanuel F., “Uranium endowments in phosphate rock” 478 (2014) 226- 234.
- [9] IAEA World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO), 2015 (Accessed at <https://infcis.iaea.org/UDEPO/About.cshtml>).
- [10] Van Kauwenbergh S.J., “Cadmium and Other Minor Elements in World Resources of Phosphate Rock”, *Proceedings of the Fertiliser Society*, 400 (1997) 40.
- [11] Bunus F.T., “Uranium and rare earth recovery from phosphate fertilizer industry by solvent extraction”. *Miner. Process. Extr. Metall. Rev. Int. J.* 21 (2000) 381-478.
- [12] Michel, P., “Uranium recovery from phosphoric acid”. *Les Techniques de l'Industrie Minérale* 32 (2006) 95-102.
- [13] Heffer P. and M. Prud'homme, *Fertilizer Outlook 2015–2019*. 83rd IFA Annual Conference, Istanbul (2015).
- [14] Mousa M. A., Gado H. S., Abd-El Fattah M. M. G., Madi, A. E., Taha M. H., and Roshdy, O. E.. “Removal of Uranium from Crude Phosphoric Acid by Precipitation Technique”. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 46 (2013) 38-47.
- [15] El-Hazek N. T. and El- Sayed M. S., “Direct uranium extraction from dihydrate and hemi- dihydrate wet process phosphoric acids by liquid emulsion membrane” *The Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 257 (2003) 347-352.
- [16] Ali H. F., Ali M. M., Taha M. H., and Abdel-Magied, A. F., “Uranium Extraction Mechanism from Analytical Grade Phosphoric Acid Using D2EHPA and Synergistic D2EHPA-TOPO Mixture”, *International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*, 2 (2012) 57-61.
- [17] Aly M. M., Mousa M. A., Taha M. H., Kandil K. M., and El-Zoghby A. A., “Kinetics and Thermodynamics of Uranium Adsorption from Commercial Di-hydrate Phosphoric Acid Using D2EHPA-Impregnated Charcoal”. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 46 (2013) 29-37.
- [18] Monnet A., Gabriel S., Baschwitz A., and Mathonniere G., “Unconventional uranium and feeding the future nuclear fleet”. *Technical Meeting on Uranium Production from Phosphate Rocks*, IAEA Headquarters, Vienna (Austria) 4–7 November (2014).
- [19] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook* (2012).

- [20] Vance R., “Preliminary assessment of the impact of the Fukushima accident on uranium supply and demand and the role of unconventional resources”. Technical Meeting on Uranium Production from Phosphate Rocks, 26–29 September (2011), IAEA Headquarters, Vienna (Austria).
- [21] Patrick Z., “Comprehensive Recovery and Sustainable Development of Phosphate Resources”, *Procedia Engineering*, 83 (2014) 37-51.
- [22] Khalil M., and Denchi M. L., “Basins geometry and tectonic origin of the western Desert of Egypt, relevance to economic resources”. El Sayed A.A., Youssef Eds., *Proceedings of the 5th International Conference on the Geology of the Arab World*, Cairo University II, pp. 523-542 (2000).
- [23] Abdel-Khalek N. A. “Beneficiation of some Egyptian Caltareous phosphate”. M.Sc. Thesis, Faculty of Science, Chemistry Department, Ain-Shams University (1982).
- [24] Elmaadawy Kh. G., Ezz El Din M, Khalid A. M., and Abouzeid A.Z. “Mineral Industry in Egypt”, Part II Non- Metallic Commodities – Phosphate Rocks, *Journal of Mining World Express (MWE)* 4 (2015).
- [25] Soliman H.A., Ahmed E.A., Aref M. A. M., and Rushdy M., “Contribution to the stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous-Lower Eocene sequences east of Esna, Nile Valley, Egypt”. *Bulletin of Faculty of Science, Assiut University*, v.9, p. 41–67 (1989).
- [26] Philobos E. R., “Geology of the Phosphorites of the Nile Valley”. Ph.D. Thesis, Assuit University, Egypt (1969).
- [27] Baioumy H. M., Preliminary data on cadmium and arsenic geochemistry for some phosphorites in Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, v.41, p. 266-274 (2005).
- [28] United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources; administered by the United Nations Economic Commission for Europe (ECE), Geneva, Switzerland (UNFC-2009).
- [29] Steven J. Van Kauwenbergh “World Phosphate Rock Reserves and Resources” IFDC, P.O. Box 2040 Muscle Shoals, Alabama 35662, USA, September (2010).
- [30] El Nasr Mining Company <<http://www.elnasrmining.com/rock.htm>> (2010).
- [31] El-Kammar, A., “Phosphorites: Visible target for optimistic prosperity”, National Workshop on Development of phosphate industries in Egypt. Nuclear Materials Authority, Cairo, Egypt, 7–8 September (2014).
- [32] Sis H., and Chander S., “Reagents used in the flotation of phosphate ores: A critical review,” *Minerals Engineering*, 16 (2003) 577-585.
- [33] Harikrishnan Tulsidas, “Phosphate resources and production”. Technical Meeting on Uranium Production from Phosphate Rocks, IAEA Headquarters, Vienna (2013).
-