

Об уране в породах фосфоритоносных формаций

ОСТРОВСКАЯ Г. Я.

УДК 546.791:549.01

В породах фосфоритоносных формаций часто наблюдаются повышенные концентрации урана, достигающие иногда промышленного значения. Однако в большинстве месторождений фосфоритов уран содержится в таких количествах, которых недостаточно для специальной добычи, поэтому его приходится извлекать попутно при химической переработке фосфорита *. Содержание урана в фосфоритах обычно не превышает 0,0n%.

Существует единое мнение, что уран фосфоритоносных формаций сингенетичен вмещающим породам, хотя местами он и подвергался перераспределению. Карстовые и островные фосфориты, как правило, не содержат значительных количеств урана. Содержание урана в фосфоритах аллювиальной толщи (верхняя часть формации Боун-Валли, США) достигает 0,01—0,02%, в фосфоритах межгорных озерных бассейнов (Грин-Ривер, США, Pg₂) содержится до 0,015% урана. Однако лишь 0,6% ураноносных фосфоритов приходится на долю континентальных образований. Морские фосфориты — основные носители урана — встречаются в отложениях всех геологических периодов. Наиболее широко они развиты в кембрийских, пермских, верхнеюрских, меловых, палеогеновых и неогеновых отложениях. Применение формационного анализа для выявления связи повышенных содержаний урана с определенными типами фосфоритов позволяет не только подойти к решению генетических вопросов, но и оказать помощь при оценке перспектив фосфоритоносных отложений как источника уранового сырья. В настоящей работе, так же как и в работе по ураноносным углям [2], предпринята попытка сопоставить известные ураноносные морские фосфориты различных стран мира с существующими классификациями фосфоритного сырья.

Из многочисленных классификаций фосфоритов наиболее приемлемой для выявления связи урана с фосфоритами, по мнению авторов, является классификация морских фосфоритов Н. С. Шатского [3], на основании которой, несмотря на то что в ней не учитываются био-

генные, переотложенные, а также метаморфогенные и континентальные фосфориты, можно выделить группы и типы формаций, перспективные или бесперспективные для поисков урана. Последнее обусловлено тем, что в отличие от многих других классификация Н. С. Шатского, разработанная на формационной основе, дает представление о тектонических условиях накопления фосфатоносных осадков, определяющих многие особенности месторождений.

Н. С. Шатский [3] выделяет 12 типов фосфоритоносных формаций, объединенных в три группы (см. таблицу, группы I—III). При этом выделяются месторождения, образовавшиеся в начальные и более поздние стадии развития геосинклиналей, а также в пределах молодых и древних платформ. Повышенные концентрации урана отмечаются лишь в породах отдаленных кремнистых формаций. В первой группе — вулканогенно-кремнистых осадках — геохимический парагенетический ряд фосфора может быть представлен в следующем виде: P, Si, Fe, Mn, (Al)... Уран совместно с редкоземельными элементами и иногда Sr, Zr, Th концентрируется лишь в отложениях «отдаленной» кремнистой формации внешних прогибов геосинклинальных областей (тип 3). Текстура этих фосфоритов сплошная массивная [4]. Содержание урана составляет 0,00n — 0,0n%, иногда до 0,n%; запасы его достигают значительной величины, а в отдельных месторождениях — даже сотни тысяч тонн [5].

Несмотря на то что проявления урана, связанные с этим типом, обычно имеют крупные запасы и значительное количество рудных горизонтов, не все фосфориты этой формации характеризуются повышенным содержанием урана. Ураноносные фосфориты отличаются от безрудных своим тектоническим положением. Ураноносные фосфориты типа Скалистых гор («Фосфория», P₁, содержание урана до 0,03%), по данным М. Кея и Н. С. Шатского [6], приурочены к внешним прогибам геосинклинальных областей, соответствующим «миогеосинклиналям» начальной и более поздней стадий геосинклинального развития (тип 3a) *; безрудные фосфориты располагают-

* Попутное извлечение урана из фосфоритов впервые осуществлено в сентябре 1952 г. на заводе вблизи г. Джоколет (шт. Иллинойс, США). В настоящее время уран попутно извлекается из третичных фосфоритов Флориды и пермских фосфоритов Скалистых гор (США) [4].

* Г. И. Бушинский считает, что фосфориты «Фосфория» отлагались в платформенную стадию развития данного региона.

Классификация морских фосфоритовых формаций *

Группа формаций	Тип формаций	Тектонические условия	Тип фосфорита	Парогенезис с другими рудами	Ураноносность	Примеры месторождений, возраст вмещающих пород **
I. Вулкано-кремнистая начальная и зрелых стадий геосинклинального развития	1. Вулканический «зелено-каменный»	Внутренние зоны геосинклинальных областей («эвгеосин-клинали»)»	Фосфат распылен в вулканитах	Si, Fe, Mn, (Al)	—	Нассау (ФРГ), D ₂ -D ₃ (<0,004); Лиги-чиче и Хвалетиче (Рудные горы, Чехо-словакия); Мино (Ю. Япония), Pz
	2. Кремнисто-сланцевый	Внутренние зоны геосинклинальных областей («эвгеосин-клинали»)»	Пластовый тонкокристаллический		—	Мансфилд, шт. Вик-тория, Sp ₂ ; Sp ₃ , шт. Ю. Австралия; серия Брисбен, шт. Квинсленд, Pz ₁ (Австралия)
	3. Отделенный кремнистый	а) Внешние прогибы геосинклинальных областей («мио-геосинклинали» по Кею) б) Прочие на внут-ренних консолиди-рованных массивах геосинклиналей	Пластовый оболитово-зернистый		Рудопроявле-ния и крупные месторождения	«Фосфория», Ска-листые горы США, P ₁ (0,028)
II. Терригенно-карбонатная (терригенно-кремнисто-карбонатная), чаще стадии молодых платформ	4. Терригенный («нубийский»)	Склоны антеклиз древних платформ	Пластовый зер-нистый	Глиноцититовые породы, оолито-вые железняки, железомарганце-вые и марганце-вые карбонатные руды	Рудопроявления и крупные место-рождения	Абеокута (Ниге-рия), P _{g2} (0,01); Три-хинополи (Индия), Ст _{2m} (0,01) Тлес (Се-негал) P _{g2} -Ng
	5. Кремнево-тер-ригенный	Склоны древних платформ	Зернистый		Рудопроявления и месторождения	Сафага (АРЕ) Ст ₂ ^{ар} (0,01)
	6. Терригенно-известняковый («атласский»)	Склоны древних платформ (а), плос-ких прогибов эпи-палеозойских плат-форм (б) и внешнего склона краевого про-гиба (в)	Зернистый		Единичные рудопроявления и мелкие место-рождения	Косейр (АРЕ), Ст ₂ (0,02); Улад-Аббу, Луи-Жангиль (Ма-рокко) Ст _{2m} -P _{g1-2} (0,02); бассейн Гафса (Тунис), Ст ₂ -P _g (0,03); бассейн Тебес-

III. Глауконитовая, стадии древних платформ, как исключение, геосинклиналей	7. Известняковый («атласский») Склоны древних платформ	Зернистый	са (Алжир), Сг ₂ -Pg (0,04); толща Хуортон (Флорида, США), Ng (0,03), Ланд-Пернамбуку (Бразилия) Сг ₂
8. Кремнево-известняковый	8. Внешние и внутренние склоны краевых прогибов	Пластовый тонкокристаллический	Единичные рудопроявления —
9. Терригенно-глауконитовый	Склоны синеклиз древних и эпидалазойских платформ, как исключение, геосинклиналей	Желваковый	Бедфорд, Кембридж (Англия), Сг; Арденны (Бельгия), Сг
10. Глауконитово-меловой		Желваковый	Дон-Дороган (Австралия), Сг ^{sn2}
11. Глауконитово-карбонатный		Зернистый	Монс и Камбре (Бельгия, Франция) Сг (0,004)
12. Глауконитово-опокowy		Желваковый Тонкокристаллический (пластовый)	Рудопроявления —
IV. Глинистая, стадии платформ, как исключение, геосинклиналей	13. Внутренние зоны краевого прогиба платформы	Кости рыб	Рассеянные проявления минерализации и рудопроявления
14. Глинистый и песчано-глинистый	Склоны антеклиз в краевых зонах платформ	Кости рыб и птиц	Рудопроявления и месторождения
15. Глинистый и песчаный	Центральные зоны платформ	Кости рыб, птиц и млекопитающих	—

* Классификация фосфоритов групп I—III дана Н. С. Шатским. IV и данные по ураноносности — дополнения автора.
 ** В скобках указано максимальное содержание урана в процентах.

ся во внутренних геосинклинальных системах (тип 3б).

Фосфоритоносные формации почти всех типов второй группы (терригенно-карбонатной), занимающие огромные районы, имеют большое практическое значение. Только на четыре бассейна этой группы (Алжир, АРЕ, Марокко, Тунис) и вторичные месторождения этого типа (Флорида) приходится не менее 75% мировой добычи фосфоритов. Однако содержание урана в них незначительно, хотя его запасы иногда оцениваются в сотни тысяч тонн [7]. С залежами фосфоритов терригенно-карбонатной группы местами парагенетически связаны глауконитовые породы, фациально переходящие в оолитовые железняки, железо-марганцовые и марганцовые карбонатные руды, сидериты и иногда бокситы.

Структурно-тектонические условия формирования месторождений второй группы довольно разнообразны. Согласно Л. А. Русинову [4], месторождения типов 6 и 8 находятся в краевых прогибах, а 4, 5, 7 — в пределах молодых платформ. Для каждой формации характерна определенная текстура фосфоритовых пластов (для первых чаще всего тонкослоистая, для вторых зернистая).

Повышенная концентрация урана (0,01—0,02%) характерна для фосфоритов терригенной формации «нубийского» типа (Абекута в Нигерии, P_{g2}; Трихинополи в Индии, Cr₂^{cm}; Тиес в Сенегале, P_{g2} — Ng). В кремнево-терригенной формации содержание урана достигает 0,01% (Сафага в АРЕ, Cr₂^{cmp}), в терригенно-известковой «атласского» типа — до 0,01—0,03% (Кюсейр в АРЕ, Cr₂; Улад-Аббу и Луи-Жантиль в Марокко, Cr₂ → P_{g1-2}; бассейн Гафса в Тунисе, Cr₂—P_{g2}; бассейн Тебесса в Алжире, Cr₂—P_{g2}; Линд-Пернамбуку в Бразилии, Cr₂; фосфоритоносная толща Хоуторн, шт. Флорида в США, Ng). Незначительными содержаниями (до 0,005—0,01% урана) характеризуются известняковая формация «атласского» типа (Нечув в Израиле, Cr₂^{cmp}; Эр-Русейфа в Иордании, Cr₂^{cm}) и фосфоритизированные известняки (шт. Теннесси в США, D).

Несмотря на неравномерность и незначительное содержание урана в фосфатных породах терригенно-карбонатной группы, для них характерны определенные закономерности. В этой группе уран отсутствует в тех типах формаций, которые приурочены к внешним и внутренним склонам краевых прогибов (типы 6 и 8). Эта закономерность отмечается даже в тех случаях, когда формация развита

в заведомо ураноносной провинции. В тех случаях, когда формация терригенно-известкового типа приурочена к молодым платформам (тип 6б), фосфориты всегда ураноносны. Следует отметить также различие в текстуре: для фосфоритов краевых прогибов характерна тонкослоистая текстура, для платформенных — зернистая.

В платформенных областях четко наблюдается и другая закономерность — приуроченность повышенных содержаний урана к склонам антеклиз и почти полное отсутствие его во внутривнутренних прогибах. Следует также отметить, что фосфоритоносные формации постгерцинских (молодых) платформ (Марокканский бассейн Африки, неогеновые месторождения в шт. Флорида и Ю. Каролина, США) в отличие от формаций древних платформ (АРЕ, Израиль, Иордания, фосфатноносные отложения ордовика и девона в шт. Арканзас и Теннесси, США) имеют несколько повышенные содержания урана. Здесь, вероятно, как считает В. И. Смирнов [8], для первой группы формаций в образовании богатых промышленных концентраций урана значительная роль принадлежит вторичной мобилизации рассеянного урана во вмещающих породах (формации Хоуторн и Боун-Валли в шт. Флорида, фосфориты в шт. Теннесси, США, Абекута в Нигерии, Тиес в Сенегале).

Отложения третьей группы формаций — глауконитовой, образовавшиеся в платформенную стадию (и, как исключение, в геосинклинальную), характеризуются парагенетической связью с залежами марганцевых и оолитовых железных руд. Марганцевые руды наблюдаются преимущественно в глауконитово-опоковых формациях склонов синеклиз древних и эпипалеозойских (молодых) платформ. Чаще всего фосфориты конкреционные, реже — пластовые. Из четырех формаций этой группы лишь в глауконитово-опоковой (тип 12) выявлены рудопроявления урана, не представляющие практического интереса (восточно-европейские фосфориты, P_{g1-2}), а в глауконитово-карбонатной (тип 11) — незначительная ураноносность пород (Бельгия и Парижский бассейн, Cr).

Кроме указанных ураноносных формаций, образовавшихся в морских бассейнах, и незначительной группы континентальных отложений существуют еще многочисленные уран-фосфатные проявления, связанные с костными остатками крупных позвоночных животных, птиц и рыб. Костные остатки крупных позвоночных животных и птиц приурочены к кон-

тинентальным отложениям. В них содержится около 0,00n% урана. В единичных случаях оно достигает 0,n%, однако ввиду небольших запасов эти месторождения не представляют практического интереса. Костные остатки рыб входят в группу морских отложений и располагаются преимущественно на склонах антеклиз краевых впадин. С костными остатками рыб парагенетически связаны залежи урана, которые бедны по содержанию, но иногда имеют довольно крупные размеры с большими запасами комплексных руд, содержащих также редкоземельные элементы. Поэтому целесообразно для нужд урановой геологии к основной формационной классификации морских фосфоритов Н. С. Шатского добавить четвертую группу — глинистую, образовавшуюся в стадии геосинклиналей, с подразделением ее на три формации: 1) битуминозно-песчаную и песчано-аргиллитовую, внутренних зон краевого прогиба платформ (тип 13); 2) глинистую и песчано-глинистую склонов антеклиз и краевых частей платформ (тип 14); 3) глинистую и песчаную центральных частей платформ (тип 15).

Известные месторождения урана приурочены преимущественно к глинистой и песчано-глинистой формациям краевых частей платформ (тип 14) и связаны с костными остатками рыб. В костных остатках рыб битуминозно-песчаной и песчано-аргиллитовой формации (тип 13) уран присутствует в незначительных количествах (0,00n%), а в костных остатках глинистых и песчаных фосфоритоносных формаций (тип 15) он отсутствует.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что повышенные содержания урана встречаются в фосфатных отложениях различного возраста и на всех континентах. Вместе с тем четко устанавливается связь урана лишь с определенными фосфоритоносными формациями. Основное значение при этом имеет тектоническое положение рудовещающих осадков. Наиболее крупные запасы урана установлены во внешних прогибах геосинклинальных областей, соответствующих, по классификации Кея, «миогеосинклиналям» в фосфоритах отдаленной кремнистой формации (группа I, тип 3). Кроме того, сравнительно крупные залежи ураноносных фосфатов, связанные со скоплениями костных остатков рыб, характерны и для склонов антеклиз краевых зон платформ (группа IV, тип 14).

Широкое развитие рудопроявлений и месторождений фосфоритов с низким содержанием

урана, но иногда крупными запасами характерно для склонов антеклиз и синеклиз платформ. Уран сорбционно связан с фосфатами пластового и желвакового типов (группа II, типы 4, 5, 6а, 6б, 7; группа III, типы 11, 12). Среди платформенных формаций несколько повышенными содержаниями урана по сравнению с фосфоритами древних устойчивых платформ отличаются фосфориты, приуроченные к эпигерцинским (молодым), а возможно, и активизированным платформам.

В фосфоритоносных породах центральных частей древних устойчивых платформ урана содержится очень мало (группа III). Уран отсутствует в породах внешних и внутренних склонов краевых прогибов даже в пределах заведомо ураноносных провинций, так же как при наличии потенциально ураноносных пород отдаленной кремнистой формации (группа II, типы 6 и 6в). Исключение составляют внутренние зоны краевого прогиба платформ, где в участках фациального перехода иногда отмечается слабая зараженность ураном, связанная с костными остатками рыб (группа IV, тип 13). Уран отсутствует в фосфоритоносных формациях внутренних зон геосинклинальных областей.

Есть основания предполагать, что эти особенности определяются не только наличием или отсутствием источников урана, но и условиями осаждения фосфата кальция, а также и урана. Согласно представлениям Н. А. Красильниковой [9], фосфориты в геосинклинальных бассейнах ранних эпох, по всей вероятности, являются преимущественно хемогенными образованиями. Накопление фосфата кальция и урана в осадках, по-видимому, было обусловлено различными причинами: изменением рН морской воды, повышением концентрации фосфора и урана в результате поступления этих элементов с глубинными водами или из очага вулканической деятельности совместно с кремнием, железом и марганцем, образующими крупные скопления в вулканогенно-кремнистых формациях [10].

В мезозойский и кайнозойский периоды процесс фосфоритообразования проявлялся главным образом на платформах, при этом существенное влияние оказывала климатическая обстановка. Крупные месторождения высококачественных фосфоритов образовались в областях аридного климата, а более бедные желваковые фосфориты — в гумидной зоне. Первые — чаще всего ураноносные, вторые обычно не содержат урана. Согласно представлениям Н. М. Стра-

хова [11], организмы в мелководных условиях способны насыщению морской (придонной) воды P_2O_5 и выпадению фосфата в условиях изменения парциального давления CO_2 . Некоторые исследователи считают [12], что в морские водоемы платформенных областей фосфор приносился реками в виде механической взвеси, коллоидных частиц и в растворенном состоянии. Вероятнее всего, совместно с ним поступал и уран из размываемых пород суши.

Таким образом, источником урана и фосфора в уран-фосфатных породах были разрушаемые горные породы. Вместе с тем, в некоторых случаях эти элементы имели эндогенное происхождение.

В заключение необходимо подчеркнуть, что при поисках урана следует прежде всего обращать внимание на фосфатные месторождения двух типов, характеризующихся различными условиями образования и разными источниками фосфора и урана. Наиболее перспективен первый тип, он связан с «миогеосинклиналиями» преимущественно ранних эпох широкого развития карбонатно-кремнистых фосфоритоносных формаций. Основной источник фосфора, как и многих других элементов, в том числе и урана, — вулканогенный, а извлечение его из морской воды в осадок происходило хемогенным путем.

Второй тип — платформенный — образовался в более поздние эпохи и преимущественно развивался в мезокайнозой. Для него характерно распространение пластово-зернистых фосфоритов в аридных зонах. В образовании уран-фосфоритовых руд этого типа большое значе-

ние имела жизнедеятельность организмов [13, 14]. Однако первичным источником фосфора, как и урана, вероятно были размываемые породы суши.

Поступила в Редакцию 19/IV 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодов В. Н. Редкие элементы в осадочных и метаморфических породах. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 67.
2. Островская Г. Я. «Атомная энергия», 1970, т. 28, вып. 6, с. 467.
3. Шатский Н. С. Материалы совещания по осадочным породам. М., Изд-во АН СССР, 1955, вып. 2, с. 7—101.
4. Русinov Л. А. «Докл. АН СССР», 1959, т. 124, № 6, с. 1289.
5. Sheldon R. Physical Stratigraphy and Mineral Resources of Permian Rocks in Western Wyoming. — U. S. Geol. Surv. Process. P-313B.
6. Бушинский Г. П. Формация Фосфория. М., «Наука», 1969, с. 42, 67—68.
7. Атомная энергия в странах Африки. М., ЦНИИ атоминформ. Обз. серия АИНФ 113 (ОБ), 1974, с. 3, 6, 23, 33.
8. Смирнов В. И. Вопросы прикладной радиогидрогеологии. М., Госатомиздат, 1963, с. 29.
9. Красильникова Н. А. «Литология и полезные ископаемые», 1967, № 5, с. 156.
10. Дзюенидзе Г. С. Роль вулканизма в образовании осадочных пород и руд. М., «Недра», 1969, с. 244.
11. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1960, т. 2, с. 225.
12. Гиммельфарб Б. И. Закономерности размещения месторождений фосфоритов в СССР и их генетическая классификация. М., «Недра», 1965, с. 23.
13. Бушинский Г. И. «Изв. АН СССР», 1954, № 1, с. 3.
14. Бушинский Г. И. Древние фосфориты Азии и их генезис. М., «Наука», 1966, с. 175.