

УДК 551

**ВЕРХНЕОЛИГОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ
ПРЕДКАВКАЗЬЯ, ВОЛГО-ДОНА И МАНГЫШЛАКА
(ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВОСТОЧНОГО ПАРАТЕТИСА)
СООБЩЕНИЕ 3. МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ
КОСТНОГО ДЕТРИТА РЫБ И СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА**

© 2004 г. А. С. Столяров, Е. И. Ивлева*

*Геологический институт РАН
119017 Москва, Пыжевский пер., 7*

* *Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС)
119017 Москва, Старомонетный пер., 31*

Поступила в редакцию 19.12.2002 г.

Впервые рассмотрено детальное строение залежей костного детрита и сульфидов железа на основе большого объема аналитических данных, отражающих вариации их компонентного состава и металлоносности. Показано, что костный детрит и сульфиды железа, как правило, в максимальных количествах концентрируются в залежах раздельно. При этом, количество сульфидов не влияет на металлоносность костного детрита, а повышенные скопления последнего обычно снижают содержание урана и редкоземельных элементов в фосфатном веществе остатков рыб. В фациальном отношении наиболее металлоносными в расчете на фосфатное вещество являются залежи относительно глубоководного типа, обычно характеризующиеся пониженным количеством костных остатков. Залежам, формировавшимся в сравнительно мелководных обстановках, свойственна более высокая концентрация костного детрита при пониженной его металлоносности. Отмечается, что источники редких элементов и железа остаются проблематичными.

Проблема металлоносности залежей костного детрита рыб (КДР) стала освещаться в печати в полном объеме лишь в последнее десятилетие, так как конкретные сведения по урану длительное время не подлежали публикации. Следует однако, сказать, что наличие урана в ископаемых остатках рыб впервые было установлено В.Г. Мелковым еще в первые послевоенные годы в пределах Черкесской залежи Северного Кавказа. Однако последняя не вызвала практического интереса в связи с низкими содержаниями урана в руде – 0.002–0.008%. В результате данный тип осадочных концентраций урана стал рассматриваться как неперспективный в промышленном отношении.

Положение дел резко изменилось в пятидесятые годы, когда на Мангышлаке были открыты крупные залежи с более высокой ураноносностью. Нам довелось начинать геологическое изучение этого в то время практически неосвоенного района: впервые было проведено стратиграфическое расчленение всей майкопской толщи [Столяров, 1958] и установлено стратиграфическое положение обнажающихся во впадине Карагие залежей КДР в мощном глинистом разрезе. Полученные нами геологические материалы с обоснованием постановки поисково-разведочных ра-

бот привели к выявлению на Мангышлаке промышленных месторождений урана (Меловое и др.).

В дальнейшем, по аналогии с Мангышлакским, был открыт другой крупномасштабный район развития ураноносных залежей – Ергенинский.

Проведенный в указанных рудных районах огромный объем буровых и горных работ позволил провести комплексное изучение литологического состава и металлоносности залежей, на основных результатах которых мы остановимся ниже.

Как уже отмечалось, первоначально металлоносность залежей КДР рассматривалась в печати без сведений об уране, однако это не искажало общие представления об их составе и строении [Коченов, Зиновьев, 1960; Коченов, Столяров, 1960; Мстиславский, Коченов, 1960; Коченов и др., 1970].

Наиболее обстоятельно состав залежей был охарактеризован в последней из перечисленных работ. На примере группы редкоземельных элементов (РЗЭ) были установлены следующие закономерности: 1) прямая зависимость между РЗЭ и P_2O_5 , 2) увеличение содержания РЗЭ от крупных остатков костей к более мелким их фракциям, 3) пониженные концентрации РЗЭ в монолитных, массивных костных остатках, в том числе

сильно минерализованных, поры которых выполнены аутигенными минералами – кальцитом, целестином, баритом, 4) наибольшее обогащение РЗЭ периферических частей костных остатков. В целом подчеркивалось, что основным фактором распределения РЗЭ в остатках рыб является величина свободной внутренней поверхности фосфатного вещества или степень его дисперсности. Эта величина тесно связана с содержанием в костях органического вещества, которое, пропитывая фосфатную массу, препятствовало раскristаллизации фосфата кальция, увеличивая тем самым его сорбционную поверхность. Содержание органического вещества обычно возрастает от крупных обломков к мелким, что и определяет в целом повышенную металлоносность последних. Таким образом, была намечена взаимосвязь между внешними свойствами костей, их внутренней структурой, содержанием органического вещества и концентрацией РЗЭ. В дальнейшем было показано [Столяров и др., 1991], что характер распределения урана в КДР подчиняется тем же закономерностям, что и приведенные выше для РЗЭ. Он также в большей степени концентрируется в мелких обломках, составляющих песчано-алевритовую фракцию костного детрита, в темных пористых костях с примесью органического вещества, но не содержащей аутигенной минерализации, и т.д. Об имеющих место некоторых различиях в степени концентрации РЗЭ и урана в зависимости от фациальных условий формирования залежей будет сказано в дальнейшем.

Кроме остатков рыб, в залежах в подчиненном количестве встречаются кости водных млекопитающих, рептилий и птиц. Металлоносность этих остатков не отличается от рыбных тех же размеров; это касается и диагенетических фосфатных стяжений. В то же время встречающаяся галька фосфоритов всегда является менее металлоносной. Все это свидетельствует о диагенетической природе концентраций РЗЭ и урана в фосфатном веществе залежей. Было также установлено, что углефицированные древесные остатки практически всегда являются неметаллоносными.

Металлоносные залежи, помимо урана, содержат также в костных остатках скандий, а в сульфидных рениях [Столяров и др., 1991]. Скандий, так же как редкие земли и уран, постоянно присутствует в остатках рыб, однако в очень небольших количествах (0.002–0.006%; кларк концентрации (Кк) – всего 2–3). Кроме того, скандий всегда содержится и во вмещающих глинистых отложениях (0.002–0.0025%).

Рений также установлен во всех залежах в количестве до $3\text{--}4 \times 10^{-4} \%$, при Кк до 3000. Это самый высокий показатель для всех элементов, содержащихся в залежах.

Металлоносные залежи КДР были выделены в качестве **сульфидно-фосфорной ураново-редкометалльной** рудной формации [Столяров и др., 1991].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фациально-палеогеографическая обстановка формирования залежей КДР впервые была рассмотрена на примере Ергенинского рудного района с характеристикой различий в их компонентном составе и степени металлоносности костного фосфата в зависимости от фациальных условий формирования [Столяров, Ивлева, 1991].

Рудоносность Мангышлакского района впервые была охарактеризована А.С. Столяровым и А.В. Коченовым [1995]. По промышленному месторождению Меловое приведены данные по среднему составу всех четырех пластов, составляющих залежь. Показано, что в костном детрите содержание урана четко коррелируется с его размерностью, значительно возрастая от крупных обломков (1–3 мм) к мелким (< 0.1 мм) в диапазоне 0.1–0.4%.

В составе редких земель преобладают церий, лантан, иттрий и неодим (0.044–0.082%); содержание остальных элементов снижается пропорционально их кларкам от 0.0125% до 0.0010%.

Содержание скандия в рудах Мелового месторождения изменяется в зависимости от количества КДР от 0.0025% (при P_2O_5 6–7%) до 0.0050% (при P_2O_5 14–15%). Прослой глины в рудном пласте 2 характеризуются более низким содержанием скандия – 0.0012–0.0018%. Количество рения на Меловом сравнительно выдержанное и составляет в среднем $(1\text{--}2) \times 10^{-4} \%$.

Более детально литологический состав и строение рудных пластов месторождения Меловое охарактеризованы А.А. Шарковым [2000].

Авторами было проведено первое комплексное рассмотрение месторождений в пределах всей Мангышлакско-Ергенинской рудной провинции. Впервые приведен полный химический состав руд всех месторождений Ергенинского района, включая Sc, Re, Ni, Co, Mo, и дана сравнительная характеристика состава руд основных месторождений Мангышлака и Ергеней [Столяров, Ивлева, 1995].

Наконец, были рассмотрены проблемы генезиса марганцевых и ураново-редкометалльных руд в майкопской формации [Столяров, Коченов, 1995; Коченов, Столяров, 1996]. Отмечено, что совместное нахождение столь различных в геохимическом отношении ураново-редкометалльных и марганцевых месторождений является уникальным, связанным с развитием в морских бассейнах Восточного Паратетиса сероводородного заражения вод.

В проблеме металлоносности залежей были отмечены следующие основные положения.

Уран. В общем случае пластообразные скопления КДР с сохранившимся в них белковым органическим веществом создавали в осадке резко выраженную восстановительную среду, наиболее благоприятную для фиксации урана в костном фосфате. При этом, КДР в залежах относительно глубоководного типа характеризуется более высокой ураноносностью (до 0,4–0,5%), в то время как в более мелководных условиях, а также в карбонатных разностях содержание урана в костном фосфате снижается до 0,06–0,1%.

Редкоземельные элементы. В отличие от урана, накопление РЗЭ в майкопских остатках рыб не является чем-то исключительным. Высокие концентрации РЗЭ установлены в ископаемых костях рыб из отложений разного возраста и литологического состава [Блох, Коченов, 1964]. Например, в остатках рыб из красноцветных девонских отложений Русской платформы они достигают 1,0–2,8%.

Поступление в осадок РЗЭ и скандия, относящихся к группе труднорастворимых элементов – гидролизатов, происходит, по-видимому, не из морской воды, в которой их содержания крайне низки, а в составе терригенного глинистого материала и оксидов железа. Переход РЗЭ и скандия из твердой фазы в растворенное состояние и поступление в иловые воды с последующей концентрацией фосфатными остатками рыб происходил, видимо, так же как и урана, под влиянием органического вещества (водно-растворимого), играющего важную роль в миграции элементов-гидролизатов. Последние осаждались, как и уран, на поверхности костных обломков совместно с органическим веществом, что и определяет в целом прямую корреляцию между ними.

Сульфиды железа (СЖ). Вопрос о происхождении СЖ, одного из основных компонентов состава залежей КДР, до настоящего времени остается дискуссионным, в том числе в связи с проблематичностью источника больших масс железа, сосредоточенных в залежах или образующих самостоятельные пласты и прослои с резко подчиненным количеством КДР [Коченов, Столяров, 1960; Столяров, Ивлева, 1991 и др.]. Характерно многообразие минеральных форм выделения сульфидов. Наиболее широко развит сажистый скрытокристаллический пирит (реже марказит), пропитывающий глинистую массу и выполняющий поры в костях, часто встречаются сульфидные конкреции иногда размером до 10 см и более в диаметре, а также пизолитовые образования.

Значительные выделения сульфидов в скоплениях КДР в общем случае могут рассматриваться как результат собирательной кристаллизации пирита при бактериальном разложении белкового

вещества костных остатков. Однако, как будет показано ниже, концентрация в залежах КДР и СЖ является далеко не прямо пропорциональной и часто даже диаметрально противоположной, что также осложняет решение генетических вопросов металлоносности.

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЛЕЖЕЙ

Компонентный состав рассматриваемых экзотических осадочных образований весьма изменчив. Количество КДР в различных залежах или их частях изменяется от первых процентов до 60–75%, то есть практически до природного “костного концентрата” с сульфидно-глинистым поровым цементом. По содержанию P_2O_5 эти колебания составляют 1–25%. Почти такие же количественные изменения характерны для СЖ – 10–58% ($S_{\text{пир.}}$ 5–29%). Максимальные их концентрации свойственны сульфидным пластам и прослоям – 40–58%, обычно отличающимся небольшим количеством КДР – 3–6% (P_2O_5 1–2%). Содержание сульфидов во вмещающих глинах составляет 3–7% ($S_{\text{пир.}}$ 1,5–3,5%). Количество глинистого материала в целом более постоянно – 30–60% (Al_2O_3 5–10%), но в отдельных залежах может снижаться до 5–10%. Во вмещающих глинах содержание Al_2O_3 составляет 18–20%.

В целом, залежи были условно разделены на: “высокофосфорные” ($P_2O_5 > 10\%$), “высокосернистые” ($S_{\text{пир.}} > 12,5\%$) и “высокоглиноземистые” ($Al_2O_3 > 8\%$) [Столяров, Ивлева, 1991].

Ниже, на основании большого объема аналитических данных мы впервые попытаемся показать некоторые особенности концентрации в костном фосфате урана и суммы РЗЭ в зависимости от количественных соотношений КДР и СЖ. Рассмотрение этих вопросов мы начнем с Ергенинского района, где отдельные залежи характеризуются весьма контрастными фациальными обстановками формирования – от самых глубоководных до наиболее мелководных для данного типа осадочных образований.

Степновская залежь. В пределах всей Ергенинско-Мангышлакской палеогеографической системы внешнего шельфа Степновская залежь приурочена к наиболее глубоководной части бассейна. Она располагается на достаточно крутом северо-западном склоне Терско-Кумского прогиба, вдали (до 50 км) от небольших островных массивов и контролируется резким морфологическим уступом дна [Столяров, Ивлева, 1991, 1995]. Вдоль последнего залежь прослеживается более чем на 11 км, резко расщепляясь к юго-востоку на расстоянии всего 2–3 км по типу “рыбьего хвоста” с увеличением мощности до 6–8 м (рис. 1).

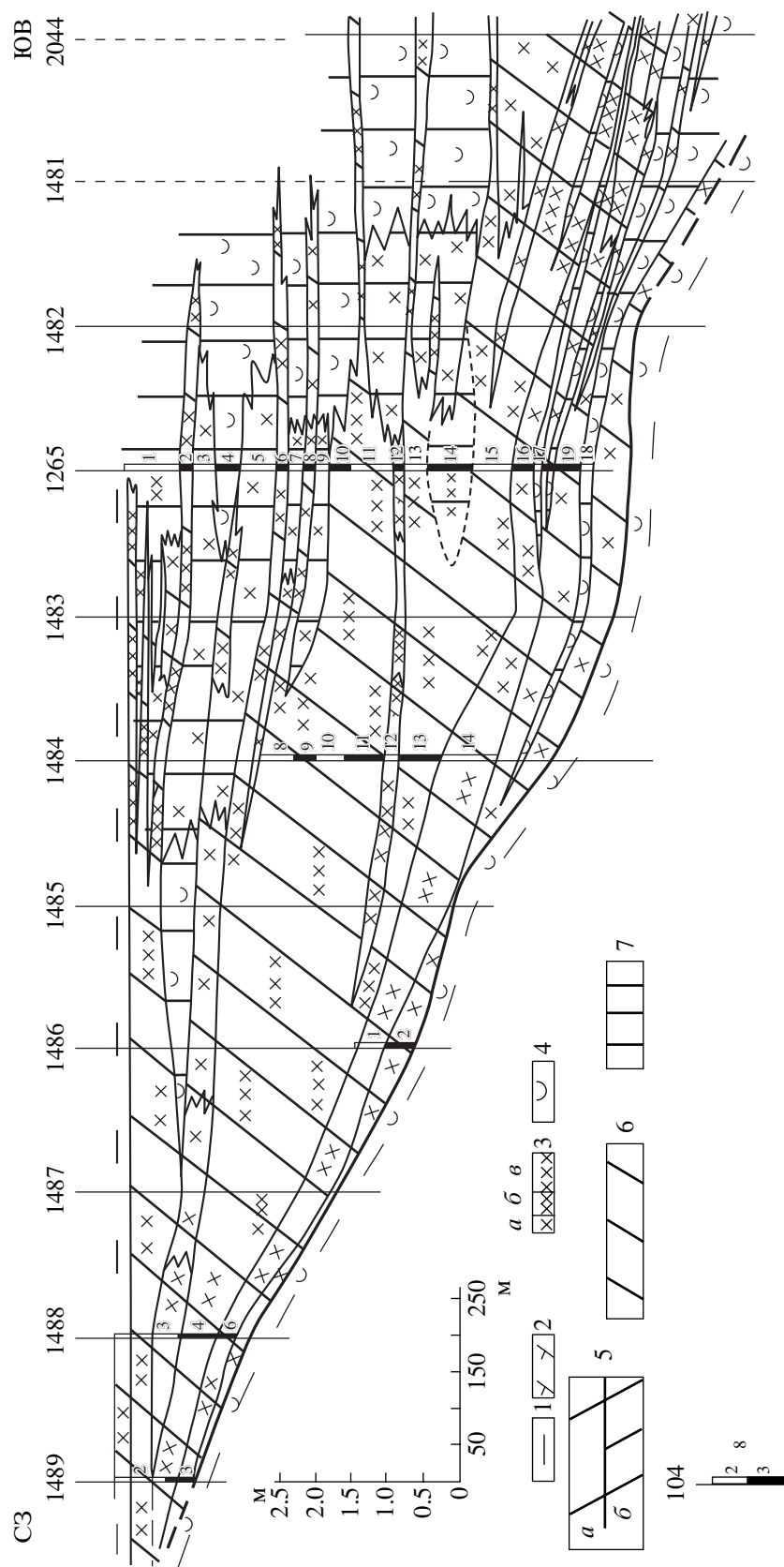


Рис. 1. Поперечный разрез Стелновской залежи.
1 – глина; 2 – карбонатные породы; 3 – костный детрит рыб с содержанием P_2O_5 ; 4 – рассеянные остатки рыб; 5–7 – преобладающий компонент в составе руд: 5 – костный детрит (преобладание – а – умеренное, б – резкое), 6 – сульфиды железа, 7 – глинистый материал; 8 – скважины и их номера (сбоку номера проб).

Основной особенностью залежи является высокое содержание в ней сульфидов, составляющее в среднем 35% ($S_{\text{пир.}}$ 16–17%), а в отдельных слоях достигающее 50–55% ($S_{\text{пир.}}$ 25–28%). При этом, максимально обогащенные сульфидами части залежи зачастую характеризуются наименьшим количеством КДР (до 2–5%), среднее содержание которого также сравнительно невелико – 15% (P_2O_5 4,8%). Все это показывает, что строение залежи определялось в основном характером распределения железа, которое в глубь бассейна замещалось глинистым материалом, расслаивавшим сульфидную массу.

Прежде чем остановиться на вопросах металлоносности костного фосфата, впервые приведем некоторые данные по составу и строению залежи, отражающие обстановку осадконакопления.

Степновская залежь характеризуется как компактным, так и расслоенным строением. Компактная (северо-западная) ее часть шириной 0,5–0,6 км имеет четкие контакты с вмещающими глинистыми отложениями и изменяется в мощности от 0,1–0,5 м (вблизи выклинивания) до 3–4 м, а при расслаивании к юго-востоку возрастает до 6–8 м.

Остатки рыб представлены мелкими ребрами, чешуей, плоскими косточками головных частей и плавников; редко встречаются мелкие зубы и позвонки довольно хорошей сохранности. Цвет костного детрита – от коричневого до черного, а светлоокрашенные остатки встречаются в маломощных (до 0,2 м) карбонатных прослоях (кальцит, доломит, сидерит) и представлены в основном чешуей хорошей сохранности.

Размер костных обломков колеблется в значительном диапазоне – от 0,1 см до 1–2 см (преобладающий – 0,2–0,5 мм). Песчано-алевритовый костный материал на всей площади залежи часто несет признаки окатанности, частицы – округло-угловатые. Отдельные более крупные (3–5 см) обломки (ребра, позвонки) встречаются повсеместно, чаще в нижней приподошвенной части залежи, сложенной преимущественно сульфидами, где количество КДР незначительно (до 1–2%). Вверх по разрезу залежи повсеместно содержание остатков рыб возрастает до 20% и более, а количество сульфидов по всей мощности залежи меняется мало ($S_{\text{пир.}}$ от 13–16% до 18–21%). Уже одно это обстоятельство подчеркивает определенную независимость развития процессов накопления сульфидов железа и КДР.

Помимо костных остатков, в залежи широко развиты диагенетические фосфатные стяжения разной формы: шаровидные, овальные, реже удлиненные желтоватого цвета, рыхлые, землистые; размер их от 3–8 до 20–25 мм. Они чаще отмечаются в местах наибольшего скопления КДР.

Углефицированные древесные остатки образуют удлиненные (1–6 см) включения темно-коричневого и черного цвета обычно плотные, хрупкие иногда с клетчатой структурой древесины (лигнит). Они встречаются в различных частях залежи, но наиболее крупные – преимущественно в ее основании; отмечается их минерализация пиритом, реже сфалеритом.

Глауконит развит повсеместно в виде мелких (0,02–0,03 мм) округлых зерен грязно-зеленого цвета.

Терригенные минералы представлены в основном окатанными и угловато-окатанными зернами кварца песчано-алевритовой размерности, обычно рассеянными в массе породы, реже с образованием тонких (1–2 мм) “присыпок” на плоскостях наслоения. Его количество в среднем составляет 1–2%; отмечаются также полевые шпаты, гранаты, мусковит, биотит, роговые обманки, анатаз, рутил, турмалин, циркон, сфен, пироксен, эпидот.

Итак, Степновская залежь является прежде всего “гигантским” сульфидным месторождением с общими запасами серы порядка 7 млн. т, где количество КДР резко подчиненное, особенно в нижней части (P_2O_5 0,2–1,6%).

Следовательно, характерной особенностью этой залежи являлось накопление железа и сульфидообразование, что сопровождалось также привнесом КДР, наиболее значительным (до 20%) на средних и поздних стадиях ее формирования. С учетом сказанного, рассмотрим имеющиеся данные по концентрации в костном фосфате урана и редкоземельных элементов (табл. 1).

Среднее содержание урана в костном фосфате Степновской залежи составляет 0,34%, а суммы РЗЭ 1,44%. Эти цифры в целом близки к преобладающим значениям, полученным по многочисленным аналитическим данным, и являются наиболее высокими для образований данного типа.

В костно-сульфидной части залежи (исключая прослой глины) содержание $S_{\text{пир.}}$ изменяется в пределах 10,9–28,6%, а P_2O_5 1,0–9,8% (см. табл. 1, скв. 1306, 1308, 1265). Содержание урана в костном фосфате составляет 0,22–0,45%, редко понижаясь до 0,11%, или возрастая до 0,55%, и как исключение до 0,9–1,2%. Количество РЗЭ выдерживается преимущественно в пределах 1,3–1,5%, с крайними значениями 1,1–2,1%.

В зависимости от количественного соотношения в залежи КДР и СЖ можно отметить следующие изменения в металлоносности костного фосфата (см. рис. 1). Так, в слое 13 скв. 1265 (0,5 м), наиболее насыщенном КДР (P_2O_5 9,8%), при содержании $S_{\text{пир.}}$ 17,5% значение содержания урана в костном фосфате одно из самых низких для залежи – 0,25%. Наоборот, при резком снижении КДР (P_2O_5 1%) и также высокой сульфидности

($S_{\text{пир.}}$ 21.5%) отмечено одно из наибольших содержаний урана в фосфатном веществе – 0.90% (сл. 8, скв. 1265).

Подобные соотношения количества КДР и степени его металлоносности проявляются и в более сглаженном виде (см. табл. 1, скв. 1244). Так, при $S_{\text{пир.}}$ 19–20% и P_2O_5 4.8–6.9% содержание урана составляет 0.26–0.39%, а РЗЭ 1.3–1.5%; в прослоях с более низким содержанием КДР (P_2O_5 1.2–2.3%, $S_{\text{пир.}}$ 22%) металлоносность костного фосфата существенно возрастает: U 0.39–0.41%, РЗЭ 1.7–2.1%.

Из приведенных данных следует, что металлоносность КДР резко повышается в прослоях, где его количество снижается до первых процентов, при достаточно выдержанном высоком содержании сульфидов, видимо, существенно не сказывавшемся на изменениях концентраций U и РЗЭ в костном фосфате.

Об этом можно судить также по необычно высоким содержаниям урана в фосфатном веществе прослоев глини, переслаивающихся с костно-сульфидной рудной массой – 0.45–1.20% при P_2O_5 0.2–0.8% и $S_{\text{пир.}}$ 2.0–7.0% (см. рис. 1, скв. 1265, сл. 5, 17, 19).

Следует отметить также достаточно высокую металлоносность КДР в отдельных карбонатных прослоях залежи. Например в прослое с P_2O_5 3.13%, $S_{\text{пир.}}$ 12%, Al_2O_3 4% и CO_2 14.5% содержание урана составляет 0.27%, а РЗЭ 1.35% (см. табл. 1, скв. 1330).

Говоря о Степновской залежи в целом, еще раз подчеркнем одну из основных ее особенностей, а именно – наибольшую обогащенность сульфидными железом. При этом, морфология залежи определяется не характером концентрации КДР, как на большинстве других залежей рассматриваемого типа, а распределением в пространстве прежде всего железистого материала, который в процессе осадконакопления переслаивался с глинистым веществом с образованием “рыбьего хвоста” в сторону углубления бассейна. КДР в этом процессе проявляет себя лишь как “сопутствующий” материал, не влиявший на строение залежи.

Необходимо также отметить, что сульфидные прослои и пласты (до 1 м и более) развиты на протяжении многих километров и за пределами залежи, местами они содержат значительную примесь КДР (до 10–20%) [Столяров, Ивлева, 2004а, см. рис. 4]. Однако ураноносность костного фосфата здесь более низкая, чем на Степновской залежи. Например в слоях, где P_2O_5 составляет 3–9% и $S_{\text{пир.}}$ 20–21%, содержание U всего 0.12–0.16%, а в глинистых прослоях с P_2O_5 3–6% и $S_{\text{пир.}}$ 6–7% снижается до 0.05–0.06%. Причины этого пока остаются неясными (см. табл. 1, скв. 2521, 2523).

Таблица 1. Распределение изученных компонентов в рудах Степновской залежи

№№ скважины и проб	Содержание, %				
	P_2O_5	$S_{\text{пир.}}$	Al_2O_3	U на P_2O_5	РЗЭ на P_2O_5
А. По скважинам поперечного разреза залежи					
1489-2	2.0	18.0	–	0.45	–
1489-3	2.0	18.0	–	0.36	–
Ср. по скважине	2.0	18.0	–	0.40	–
1488-3	3.4	19.0	–	0.30	–
1488-4	4.6	18.0	–	0.29	–
1488-5	2.4	19.8	–	0.40	–
Ср. по скважине	3.46	18.9	–	0.33	–
1486-1	2.8	–	–	0.32	–
1486-2	1.4	–	–	0.22	–
Ср. по скважине	2.1	–	–	0.27	–
1484-8	–	–	–	0.24	–
1484-9	–	–	–	0.27	–
1484-10	–	–	–	0.29	–
1484-11	6.4	15.5	–	0.33	–
1484-12	–	–	–	0.11	–
1484-13	–	–	–	0.23	–
1484-14	2.6	15.8	–	0.39	–
Ср. по скважине	4.5	15.65	–	0.26	–
1265-1	2.4	6.5	–	0.27	–
1265-2	4.0	21.0	–	0.36	–
1265-3	1.0	5.0	–	0.33	–
1265-4	0.4	3.2	–	0.45	–
1265-5	0.8	6.5	–	0.45	–
1265-6	3.0	19.0	–	0.32	–
1265-7	0.6	4.8	–	0.55	–
1265-8	1.0	21.5	–	0.90	–
1265-9	1.0	9.0	–	0.36	–
1265-10	5.0	20.0	–	0.31	–
1265-11	7.0	20.0	–	0.24	–
1265-12	1.8	4.5	–	0.33	–
1265-13	9.8	17.5	–	0.25	–
1265-14	7.0	3.5	–	0.28	–
1265-15	4.0	20.5	–	0.33	–
1265-16	1.3	19.3	–	0.39	–
1265-17	0.4	7.0	–	1.06	–
1265-18	1.6	17.5	–	0.34	–
1265-19	0.2	2.0	–	1.20	–
Ср. по скважине	2.75	12.04	–	0.46	–
Ср. по разрезу	2.96	16.14	–	0.34	–
Б. По другим скважинам в контуре залежи					
1244-1	6.13	18.92	5.70	0.29	1.53
1244-3	6.90	19.13	6.74	0.26	1.36
1244-4	4.81	19.95	8.11	0.31	1.32
1244-5	2.28	22.26	7.72	0.41	2.12
1244-6	1.23	22.02	9.77	0.39	1.67
1330-2	6.48	18.67	7.04	0.23	1.40
1330-3	3.13	12.04	4.01	0.27	1.35
1308-1	0.70	28.56	5.31	0.30	0.86
1306-1	5.10	19.0	6.52	0.28	1.30
1306-2	4.54	10.94	4.39	0.29	1.40
В. За контуром залежи					
2521-1	2.38	21.15	–	0.16	–
2523-2	5.86	7.65	–	0.06	–
2523-3	9.50	20.84	–	0.12	–
2523-4	3.28	6.27	–	0.05	–

Примечание. Здесь и в остальных таблицах – прочерк – нет данных.

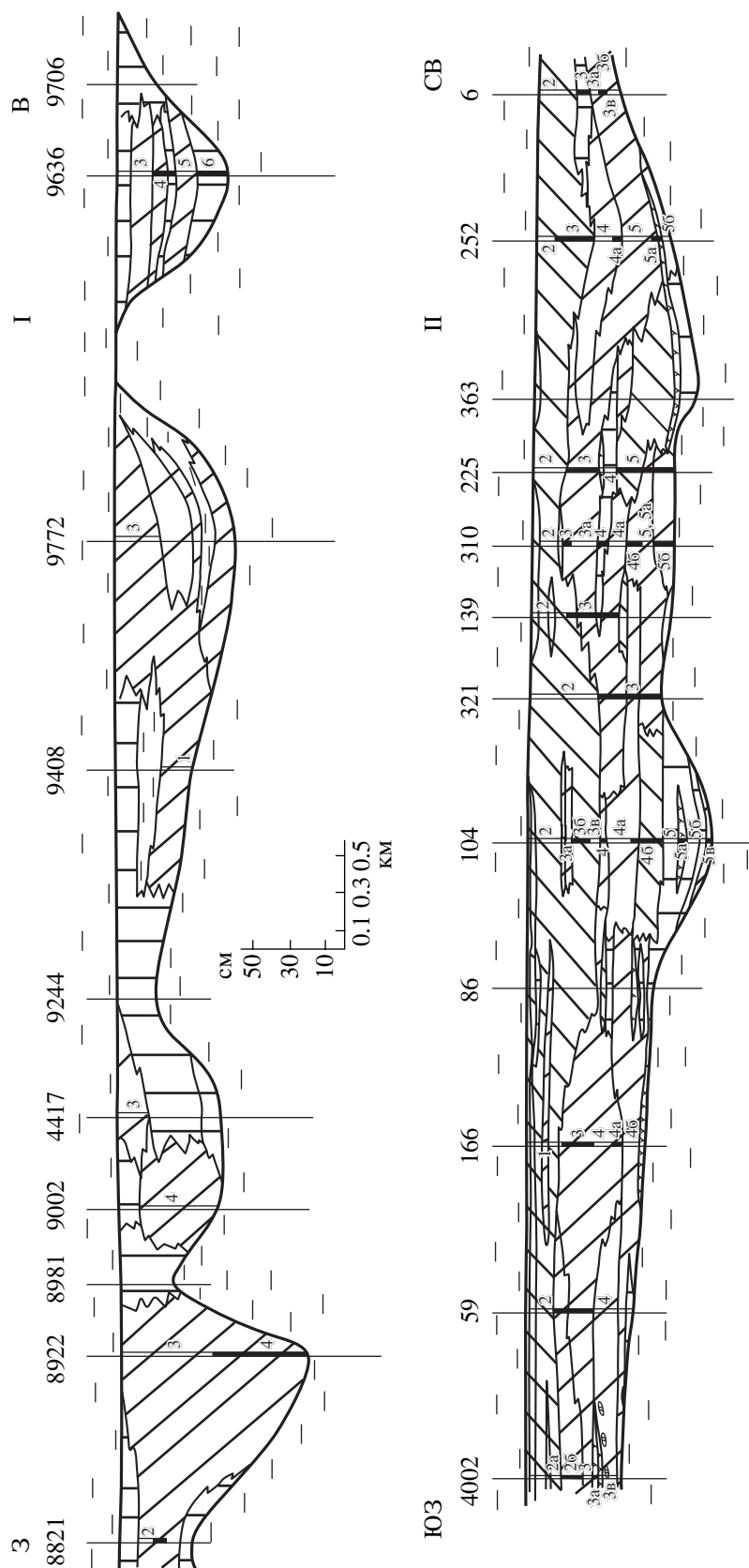


Рис. 2. Продольные разрезы залежей.
 I – Северо-восточная часть Багабульского рудного поля, II – Шаргацкая. Остальные усл. обозначения см. рис. 1.

Как видно, и в относительно глубоководной фациальной обстановке металлоносность КДР может существенно изменяться. При этом, в пределах Степновской залежи она является наиболее значительной для данных образований в целом, и при общем достаточно выдержанном содержании сульфидов колеблется лишь в зависимости от количества КДР, причем в обратном соотношении. В то же время за пределами залежи металлоносность КДР может существенно снижаться несомненно на общую устойчивость фациальных условий осадконакопления.

Шаргадыкская и Богородская залежи. Район формирования данных залежей в фациально-палеогеографическом отношении существенно отличался от охарактеризованного выше. Он представлял собой относительно мелководную зону на восточном склоне Белоглинского и Ремонтненского островных поднятий [Столяров, Ивлева, 1991]. Накопление КДР здесь происходило на значительном пространстве (до 20×30 км), в том числе за пределами рассматриваемых залежей.

Шаргадыкская залежь наиболее приближена к Белоглинскому поднятию. Она вытянута к северо-востоку на 9.4 км при ширине 0.2–4.8 км. Представлена единым, в целом компактным сравнительно маломощным (до 1.2 м) пластом (рис. 2) с неровной (волнистой) подошвой размыва подстилающих глин, обломки которых встречаются в основании залежи; здесь же обычно отмечаются и наиболее крупные (1–10 см) костные включения.

Остатки рыб в основном песчано-алевритовой размерности распространены крайне неравномерно, образуя различной формы линзы и прослои, различающиеся по содержанию КДР; отмечаются линзовидные прослои (3–4 см), цементированные карбонатами (кальцит, сидерит), а также прослои мергелей. Характерно наличие мелких линзовидных скоплений углефицированных древесных остатков размером до 5×30 см. Они имеют темный и коричневый цвет и, как правило, хорошо сохранившуюся структуру древесины.

Средний компонентный состав Шаргадыкской залежи не является типичным для образований рассматриваемого типа, поскольку отличается как высоким количеством КДР (P_2O_5 13.6%), так и СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 15.4%) при пониженном содержании глинозема (Al_2O_3 5%) [Столяров, Ивлева, 1991]. Однако в действительности одновременно высокосернистые ($S_{\text{пир.}} > 12.5\%$) и высокофосфорные ($P_2O_5 > 10\%$) образования в ее пределах имеют подчиненное развитие. Чаше отмечается дифференциация в пространстве основных компонентов, при этом КДР преобладает в нижней и средней частях залежи, а СЖ – в верхней (см. рис. 2). В результате по компонентному составу различаются два крайних типа рудных образований: а) высокофосфорный-низкосернистый-низко-

глиноземистый и б) низкофосфорный-высокосернистый-высокоглиноземистый.

Наиболее высокофосфорные образования характеризуются резким преобладанием КДР (P_2O_5 до 20–22%) с подчиненным количеством СЖ ($S_{\text{пир.}}$ до 10%) и особенно глинистого материала (Al_2O_3 1–4%). Они представляют собой перемытый (“трухлявый”) линзовидно-слоистый природный “костный концентрат”, местами “мусорного” облика или с примесью известкового материала (CO_2 2–5%) (табл. 2). Костные обломки размером до 0.5–1 см и более имеют хаотичную ориентировку, часто образуют сростки; цвет их коричневый за счет органического вещества, при отсутствии которого обломки костей бесцветные. Высокосернистые руды ($S_{\text{пир.}}$ 20–25%) выделяются черным цветом и массивной текстурой, подчиненным количеством КДР (P_2O_5 3–7%), и повышенным содержанием глинистого вещества (Al_2O_3 до 8%) (см. табл. 2).

Очевидно, что имеют место и образования различного промежуточного состава, включая прослой с преобладанием глинистого материала или с повышенной карбонатностью (CO_2 18–22%), которые также характеризуются значительным количеством КДР (P_2O_5 6–10% при $S_{\text{пир.}}$ 3–7% и Al_2O_3 2–3%) (см. табл. 2).

Остановимся на некоторых особенностях металлоносности костного фосфата в зависимости от изменений компонентного состава залежи. Прежде всего необходимо подчеркнуть, что Шаргадыкская залежь выделяется среди всех в Ергенинском районе наиболее низкой в целом средней металлоносностью КДР: U 0.1%, РЗЭ 0.84% [Столяров, Ивлева, 1991]. При этом, пределы колебаний содержаний составляют для урана – 0.04–0.12%, а для РЗЭ 0.67–0.96%.

Достаточно четкая пространственная дифференциация высокофосфорных и высокосернистых руд в пределах залежи, свидетельствующая о существенных изменениях седиментационно-диагенетических обстановок формирования, казалось бы, должна каким-то образом сказываться и на степени концентрации урана и РЗЭ в костном фосфате. Однако в действительности этого не отмечается.

Самые значительные скопления КДР (P_2O_5 15–21%) с подчиненным количеством СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 8–12%), как правило, характеризуются содержаниями урана в костном фосфате в пределах 0.06–0.1%. Высокосернистые образования ($S_{\text{пир.}}$ 15–25%), где КДР всегда сравнительно мало (P_2O_5 3–10%), имеют в целом близкую ураноносность фосфатного вещества, где содержания урана иногда повышаются до 0.10–0.12% или, наоборот, снижаются до 0.04% (см. рис. 2, скв. 104). Слои с близким соотношением КДР (P_2O_5 10–15%) и

СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 12–15%) чаще отличаются более высоким содержанием урана – 0.08–0.12% (см. табл. 2).

Важно также отметить, что маломощные карбонатные прослои (CO_2 18–22%), со значительным количеством КДР (P_2O_5 до 10%) и близкокларковом содержании СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 2.5–7.6%), характеризуются близкой к отмеченной выше ураноносностью фосфатного вещества – 0.05–0.1% (см. табл. 2).

Наконец, в отдельных прослоях глин (скв. 104, слой 5) при Al_2O_3 14–16%, P_2O_5 2–3% и $S_{\text{пир.}}$ 4–6% содержание урана в фосфатном веществе обычно наиболее высокое – 0.1–0.12%.

Как видно, резкие изменения компонентного состава рудного вещества в пределах Шаргадыкской залежи практически не сказываются на количестве урана в костном фосфате. В некоторых разрезах (скв. 166, 139 и др., см. рис. 2) при переходе от высокосернистых руд кровли залежи к высокофосфорным вообще не происходит каких-либо изменений в содержании урана.

Более ограниченные данные по РЗЭ показывают, что их распределение имеет аналогичный с ураном характер. Так, в скв. 225 и 59 высокофосфорные руды (P_2O_5 14–19%; $S_{\text{пир.}}$ 8–11%) содержат РЗЭ в костном фосфате в пределах 0.77–0.93%, а высокосернистые ($S_{\text{пир.}}$ 21–23%; P_2O_5 около 7%) – 0.88–0.96% (см. табл. 2).

Итак, представленные аналитические данные указывают в целом на достаточно выдержанную металлоносность костного фосфата на фоне резких изменений компонентного состава руд, включая карбонатные прослои. Все это затрудняет интерпретацию условий, определяющих степень концентрации U и РЗЭ в остатках рыб.

Богородская залежь располагается в 2–3 км к юго-востоку от Шаргадыкской, в более открытой части бассейна. Эти залежи формировались синхронно и по сходной эволюционной последовательности, поэтому и на данной залежи в нижней части преобладает КДР, который однако локализован в пространстве более компактно.

Отличительной морфологической особенностью Богородской залежи является наличие серии кулисно расположенных узких (50–125 м) непротяженных (первые сотни метров) субмеридиональных сравнительно глубоких (1.5–3 м) промоин, в пределах которых происходила первоначальная концентрация КДР.

Подошва промоин, как правило, неровная, со следами размыва, а в костной массе местами отмечается косая слоистость и линзочки гагата. Высокофосфорные (P_2O_5 до 22%) линзовидные образования характеризуются подчиненным количеством СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 6–10%) и особенно глинистого материала (Al_2O_3 3–4%).

За пределами локальных промоин достаточно широко (20 × 5 км) развиты маломощные (до 0.6 м) высокосернистые образования ($S_{\text{пир.}}$ до 20–23%) с подчиненным количеством КДР (P_2O_5 5–1%).

Для Богородской залежи характерна несколько более высокая средняя металлоносность костного фосфата: U 0.16%, РЗЭ 1.06% [Столяров, Ивлева, 1991]. Однако, как и на Шаргадыке, содержание последних существенно не меняется в различных по компонентному составу рудных образованиях: в высокофосфорных-низкосернистых рудах содержание урана изменяется в пределах 0.1–0.15%, а в низкофосфорных-высокосернистых оно обычно несколько выше – 0.12–0.16%; для РЗЭ колебания также незначительны – 0.92–1.06%.

Проблематичной представляется причина высокого содержания сульфидов в рассматриваемых залежах, характерных для глубоководной низкофосфорной Степновской, в сочетании с большим количеством КДР, отражающим сравнительно мелководные обстановки формирования. Пока же достаточно определенно можно говорить лишь о том, что в более глубоководных условиях степень металлоносности костного фосфата заметно выше, что наиболее характерно для урана. Так, по сравнению с КДР Степновской залежи, средняя концентрация урана уменьшается в 2–3 раза (с 0.3% до 0.1–0.16%), тогда как РЗЭ значительно меньше – с 1.44% до 0.84–1.06%.

Багабурульское рудное поле представляет собой характерный тип наиболее мелководных высокофосфорных образований с относительно низким содержанием сульфидов. Оно расположено в восточной части Ергенинского района в виде узкой (1–2 км) линейной полосы протяженностью более 20 км [Столяров, Ивлева, 1991].

Здесь развиты многочисленные (около 20) линзовидные тела сложной конфигурации, протягивающиеся в субширотном направлении на расстояние до 3.5 км при ширине 0.05–1.1 км. Мощность их резко изменчива (0.2–1.1 м) из-за неровной (“пилообразной”) границы размыва подстилающих глин, угловатые обломки которых размером до 10–15 см местами встречаются по краям линз.

Рассмотрим основные черты состава, строения и металлоносности костных скоплений в отдельных линзах северо-восточной части Багабурульского рудного поля протяженностью около 10 км (см. рис. 2).

Их состав характеризуется следующими усредненными показателями (%): P_2O_5 17.5, $S_{\text{пир.}}$ 11.2, Al_2O_3 –3.7, U 0.2 и РЗЭ 0.99 (табл. 3). Следует отметить, что в составе костно-сульфидных образований всегда отсутствует карбонатный материал, как правило, присутствующий в том или ином количестве в залежах мелководного типа.

Таблица 2. Распределение изученных компонентов в рудах Шаргадыкской залежи

№№ скважины и проб	Содержание, %					
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅	CO ₂
4002-2а	6.86	21.48	6.72	0.08	1.19	–
4002-2б	18.90	8.91	3.96	0.06	0.93	2.86
4002-3	20.73	9.94	2.61	0.07	–	2.20
4002-3а	10.83	2.52	2.19	0.05	–	21.56
4002-3в	14.42	8.69	6.94	0.07	–	1.45
Ср. по скважине	14.35	10.31	4.48	0.06	–	
166-2	8.86	19.01	5.26	0.07	–	–
166-3	21.26	9.96	2.15	0.07	–	2.64
166-4	21.47	8.00	2.70	0.06	–	2.86
166-4а	17.80	12.38	3.39	0.06	–	1.94
166-4б	18.83	9.54	3.37	0.08	–	2.95
Ср. по скважине	17.64	11.77	3.37	0.07	–	
104-2	6.64	19.30	5.12	0.09	–	–
104-3а	11.14	15.35	6.55	0.08	–	–
104-3б	5.50	21.42	6.55	0.10	–	–
104-3в	2.87	25.35	5.97	0.09	–	–
104-4а	11.19	15.68	4.91	0.06	–	–
104-4б	9.95	21.85	6.92	0.04	–	–
104-5	14.92	7.65	4.87	0.08	–	3.65
104-5а	1.92	3.79	16.34	0.12	–	–
104-5б	16.08	9.27	4.77	0.07	–	5.72
104-5в	2.88	6.08	14.32	0.10	–	–
Ср. по скважине	8.31	14.57	7.63	0.08	–	
310-2	6.37	25.05	6.20	0.09	–	–
310-3	17.47	9.23	4.58	0.05	–	1.94
310-3а	18.84	10.73	3.48	0.09	–	1.80
310-4а	18.49	11.07	3.09	0.08	–	3.21
310-4б	17.98	9.95	4.04	0.09	–	2.38
310-5	20.49	7.75	2.47	0.08	–	4.93
310-5а	3.34	2.94	7.82	0.09	–	–
310-5б	15.37	8.02	5.78	0.10	–	3.16
Ср. по скважине	14.79	10.59	4.68	0.08		
252-2	4.64	22.66	6.55	0.06	–	–
252-3	6.18	22.26	6.65	0.12	–	–
252-4	10.29	16.05	6.11	0.08	–	–
252-4а	14.48	13.34	4.86	0.12	–	1.63
252-5	14.41	14.25	4.69	0.09	–	2.13
252-5а	6.12	7.62	2.63	0.09	–	22.44
252-5б	11.27	15.35	5.66	0.10	–	2.20
Ср. по скважине	9.63	15.93	5.31	0.09	–	
06-2	5.71	24.03	5.95	0.08	–	–
06-3	8.83	16.29	6.85	0.09	–	–
06-3а	14.42	14.69	3.96	0.11	0.5	1.67
06-3б	10.12	4.03	3.24	0.10	–	18.37
06-3в	13.80	15.99	3.69	0.08	–	2.42

Таблица 2. Окончание

№№ скважины и проб	Содержание, %					
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅	CO ₂
Ср. по скважине	10.57	15.00	4.74	0.09	–	–
139-2	6.20	22.56	–	0.10	–	–
139-3	12.62	9.18	–	0.10	–	–
Ср. по скважине	9.41	15.87	–	0.10	–	–
59-2	7.22	21.19	–	0.07	0.88	–
59-3	15.25	9.40	–	0.10	0.93	–
59-4	12.12	12.41	–	0.06	0.75	–
Ср. по скважине	11.53	14.33	–	0.08	0.85	–
321-2	5.40	20.46	–	0.06	–	–
321-3	15.50	14.67	–	0.09	–	–
Ср. по скважине	10.45	17.56	–	0.08	–	–
225-2	6.90	22.75	6.60	0.10	0.96	–
225-3	18.70	7.98	3.70	0.10	0.77	–
225-4	9.40	3.91	3.40	0.08	0.67	–
225-5	14.42	10.73	5.70	0.10	0.86	–
Ср. по скважине	12.35	11.34	4.85	0.09	0.82	–
Ср. по разрезу	11.90	13.73	5.00	0.08	0.81	–

В пределах данного рудного поля КДР тяготеет к эрозионным углублениям дна, в промежутках между которыми преобладает глинистый материал или синхронные отложения полностью отсутствуют; при этом в некоторых промоинах КДР представляет основную массу. Наиболее показательным является разрез по скв. 8922 (см. рис. 2). Здесь нижняя часть (0.5 м) промоины сложена преимущественно “трухлявым” (землистым) слабосцементированным (рассыпающимся) КДР, среди которого преобладают пластинчатые, реже реберные кости, иногда крупные (1–2 см), в том числе млекопитающих (до 3.5 см). КДР песчано-алевритовой размерности сцементирован костной “трухой” при небольшом количестве сульфидов, образующих лишь налеты на КДР, но не цементирующих его массу. Характерно отсутствие базального слоя с более грубым материалом. В верхней части разреза (0.5 м) развиты тонкие (0.5–2.0 см) прослои глин, придающие породе линзовидно-слоистый облик.

Для отложений данной промоины характерен удивительно выдержанный состав (%): P₂O₅ 18–19, S_{пир.} 12, Al₂O₃ 2–3, U 0.22–0.23, PЗЭ 1.05 (см. табл. 3).

В соседней, более мелкой (0.5 м) промоине (скв. 9002) также преобладает КДР (P₂O₅ 17.86%), но отмечается существенно повышенное количество СЖ (S_{пир.} 15.8%). Шламовидный детрит имеет почти черный цвет за счет налетов дисперсного пирита, который, однако, также не цементиру-

ет костную массу. В этом разрезе отмечается наиболее высокая металлоносность КДР: U 0.27%, PЗЭ 1.22%, что вероятнее всего связано с возросшей сульфидностью руд.

Отложения крайней восточной промоины (скв. 9636) более дифференцированы по компонентному составу. В насыщенных КДР слоях (P₂O₅ 15.5–20.7%), но с пониженным количеством СЖ (S_{пир.} 7–10%), костный материал более светлый (коричневый). Он преимущественно пластинчатый, плотно упакованный, но довольно крупные обломки (до 0.5 см) также сцементированы лишь костной “трухой” (Al₂O₃ 2–5%). Несмотря на общее сходство КДР с охарактеризованным ранее, металлоносность его здесь значительно понижена: U 0.16–0.17%, PЗЭ 0.85%; это относится и к более глинистым слоям (Al₂O₃ 8–10%) (см. табл. 3).

Итак, детальное рассмотрение существенно различных в фациальном отношении залежей Ергенинского рудного района, по сути дела, не дает однозначного ответа на вопрос о связи металлоносности костных остатков с изменением их компонентного состава.

Ниже приведем новые данные по промышленным месторождениям Мангышлака, полученные нами при изучении рудных пластов в карьерах обрабатываемых месторождений Меловое и Томакское.

Месторождение Меловое. Состав, строение и металлоносность основного промышленного месторождения Меловое изложены в ряде публикаций [Столяров, Ивлева, 1995; Столяров, Коченов, 1995; Шарков, 2000]. В частности, отмечалось, что содержание урана в КДР значительно возрастает от крупных обломков (1–3 мм) к мелким (<0.1 мм) в диапазоне от 0.1% до 0.4%.

Средний состав четырех пластов, слагающих залежь месторождения Меловое, представлен в работах [Столяров, Ивлева, 1995; Столяров, Коченов, 1995]. В отличие от опубликованных данных, в табл. 4 их металлоносность приводится в пересчете на P_2O_5 .

Как видно, залежь является в целом низкофосфорной (P_2O_5 4.20%), среднесернистой ($S_{\text{пир.}}$ 11.63%), высокоглиноземистой (Al_2O_3 12.37%), при средних содержаниях в КДР: U 0.32% и РЗЭ 1.25%. При этом в двух нижних пластах содержание сульфидов сравнительно низкое ($S_{\text{пир.}}$ 8.4–9.1%), тогда как в верхних оно повышено ($S_{\text{пир.}}$ 14.5%).

Отмеченные различия пластов по компонентному составу, однако, существенно не сказываются на металлоносности костного фосфата. Можно лишь отметить, что наиболее сульфидный пласт 3 ($S_{\text{пир.}}$ 14.6%), выделяется самыми низкими содержаниями основных элементов: U 0.27%, РЗЭ 0.98%.

Пласт 2 характеризуется следующими средними показателями (%): P_2O_5 –5.15, $S_{\text{пир.}}$ 9.1, Al_2O_3 13, U 0.35, РЗЭ 1.29. Он является основным на месторождении, характеризуясь наиболее крупными запасами урана и РЗЭ.

Излагаемые ниже материалы относятся к западной части пласта 2, формировавшейся в сравнительно глубоководной части бассейна.

Глины “рыбных фаций”, подстилающие пласт 2, имеют следующий состав (%): P_2O_5 0.4–1.0, $S_{\text{пир.}}$ 2.8–4.0, Al_2O_3 17.6–20.2, при высокой металлоносности костного фосфата – U 0.3–0.46, а 1.2–1.6.

В основании пласта прослеживается линзообразный (до 6 см) базальный слой 2 с КДР размером до 2.0–4.0 см, среди которых отмечаются кости китообразных млекопитающих, иногда расположенные перпендикулярно к наслоению, а также обугленные древесные остатки (гагат). Он достаточно обогащен КДР (%): P_2O_5 9–17, $S_{\text{пир.}}$ 10–16, Al_2O_3 5–7, и также является высокометаллоносным: U 0.31–0.37%, РЗЭ 1.2%, несмотря на сравнительно крупнообломочный характер.

Пласт 2 мощностью 1.3 м характеризуется послойным распределением КДР (рис. 3, табл. 5). В приведенном разрезе нижняя его часть (сл. 3–6) мощностью 0.6 м выделяется наличием высокофосфорных прослоев (P_2O_5 11–12%), металлоносность которых достаточно выдержанная: U 0.30–0.32, РЗЭ 1.2–1.4%. Выше (сл. 7–13) пласт является сравнительно низкофосфорным (P_2O_5 1.3–7.2%),

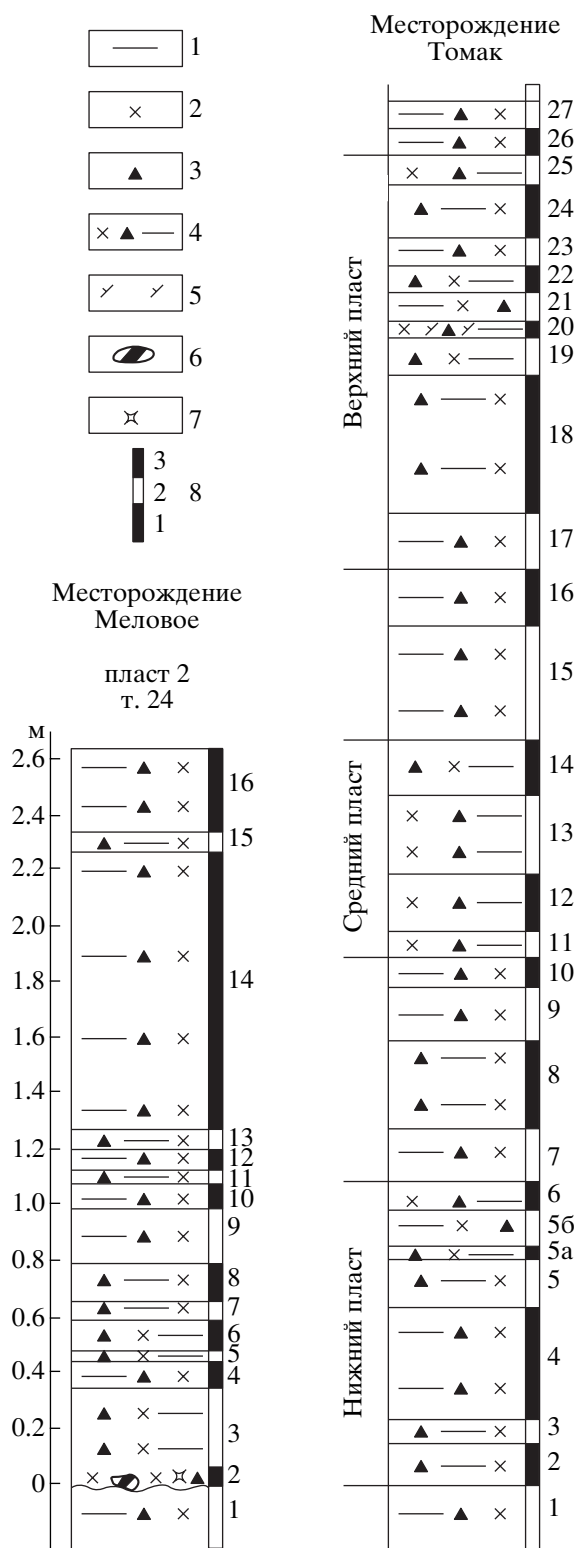


Рис. 3. Строение разрезов рудных пластов промышленных месторождений Меловое и Томакское.

1 – глина; 2 – костный детрит; 3 – сульфиды железа; 4 – соотношение компонентов в руде (преобладающий компонент слева); 5 – карбонатные прослои; 6 – углещифицированные древесные остатки; 7 – крупные костные включения; 8 – справа от разреза номера проб.

Таблица 3. Распределение изученных компонентов в рудах залежи Северо-Восточной части Багабурульского рудного поля

№№ скважин и проб	Содержание, %				
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅
8618-1	9.53	4.67	11.80	0.16	0.79
8821-2	20.06	13.50	1.26	0.21	0.92
8922-3	18.40	12.08	2.94	0.23	1.05
8922-4	19.26	12.12	2.19	0.22	1.04
Ср. по скважине 8922	18.83	12.10	2.56	0.22	1.04
9002-4	17.86	15.80	1.86	0.27	1.22
4417-3	18.64	12.91	1.92	0.22	1.18
9408-1	18.81	9.62	2.94	0.19	0.96
9772-3	20.64	12.85	0.96	0.20	0.95
9636-3	13.19	6.65	8.30	0.16	0.89
9636-4	16.52	10.25	4.74	0.16	0.86
9636-5	20.72	7.32	2.36	0.17	0.84
9636-6	10.84	6.94	9.57	0.16	0.95
Ср. по скважине 9636	15.32	7.79	6.24	0.16	0.88
Ср. по залежи	17.46	11.15	3.69	0.20	0.99

Таблица 4. Распределение изученных компонентов в рудных пластах месторождения Меловое

№№ пласта	Среднее содержание, %				
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅
Пласт 4	4.47	14.40	11.50	0.32	1.42
Пласт 3	4.00	14.60	11.00	0.27	0.98
Пласт 2	5.15	9.10	13.00	0.35	1.29
Пласт 1	3.20	8.40	14.00	0.34	1.33
Ср. по пластам	4.20	11.63	12.37	0.32	1.25

при этом содержание урана также снижается (0.25–0.34%), а РЗЭ в целом сохраняется на прежнем уровне – 1.0–1.6%.

В покрывающих глинах (сл. 14, 16) со скоплением КДР на плоскостях наложения (P₂O₅ 0.8–1.5%) содержание урана еще ниже – 0.22–0.26%, а количество РЗЭ остается высоким – около 1.5%. Однако в маломощном (5 см) прослое (сл. 15) с разложенным (“рыжим”) КДР (P₂O₅ 5.99%, S_{пир.} 11.14%) отмечена аномально низкая для всего разреза металлоносность: U 0.16%, РЗЭ 0.86%, что пока не находит аргументированного объяснения.

Из приведенных данных следует, что нижняя, сравнительно высокофосфорная часть пласта выделяется также и более значительной ураноносностью костного фосфата (0.30–0.32%), по сравнению с верхней низкофосфорной (0.25–0.34%). Вместе с тем, содержание РЗЭ остается в целом достаточно выдержанным. При этом, имеющие место изменения в сульфидности руд (S_{пир.} 6–16%) не отражаются на степени металлоносности КДР.

Томакское месторождение расположено в 12–15 км к северу от Мелового [Столяров, Ивлева, 1995]. Залежь также вытянута в северо-западном направлении на 18–20 км, но имеет линейный характер с шириной всего 1.0–1.5 км, контролируемая морфологическим уступом дна. Ее формирование происходило в более мелководных условиях и сопровождалось образованием седиментационных брекчий. По составу Томакская залежь отличается от Меловой более высокой (в 2 раза) концентрацией КДР (P₂O₅ 8.5%), и пониженной его металлоносностью: U 0.22%, РЗЭ 0.93%.

Основная часть залежи сложена тремя пластами, состав и строение которых по отдельным разрезам в стенках промышленного карьера приведены на рис. 3 и в табл. 6.

Нижний пласт (1.1 м) характеризуется значительными послойными вариациями компонентного состава, а также металлоносности КДР. Так основание пласта (сл. 2, 3, 0.25 м) с крупными костными обломками, являющееся наиболее высокосернистым (S_{пир.} 17–21%), но низкофосфорным (P₂O₅ 4.3–4.8%), выделяется аномально низкой металлоносностью КДР: U 0.07–0.08%, РЗЭ 0.24–0.32%.

В наиболее высокофосфорных (P₂O₅ 13–13.5%) прослоях (сл. 5а, б) с бурым “трухлявым” КДР и следами подводно-оползевых явлений металлоносность значительно выше: U 0.18–0.20%, РЗЭ 0.30–0.65%. Близкая металлоносность костного фосфата отмечается и в прослое глины (сл. 4) с содержанием P₂O₅ всего 0.61%: U 0.17%, РЗЭ 0.69%.

Средний пласт (0.8–1.5 м) выделяется общим повышенным количеством “ржавого” трухлявого КДР (P₂O₅ 10.8–15.4%, ср. 12.5%), образующего линзовидные скопления с включениями крупных обломков и копролитов. Металлоносность его достаточно выдержанная: U 0.14–0.17%, РЗЭ 0.67–0.75%. В основании среднего пласта прослеживается линзовидный прослой (до 0.1 м), обогащенный “рыжим” КДР с включениями гагата (сл. 11). Он резко выделяется высокофосфорным составом (P₂O₅ 23.78%, S_{пир.} 5.1%, Al₂O₃ 2.26%), но сохраняет ту же металлоносность: U 0.19%, РЗЭ 0.70%. Вместе с тем во вмещающих глинах (сл. 10, 15) с P₂O₅ 0.22–0.34% фосфатное вещество является

наиболее обогащенным ураном и РЗЭ: U 0.25–0.34, РЗЭ 1.25–1.8%.

Верхний пласт (до 1.5–2.5 м), несмотря на значительную послойную изменчивость компонентного состава, в том числе КДР (P_2O_5 2.3–14.7%, ср. 8%), характеризуется близкой к среднему пласту ураноносностью (0.14–0.18%), но более высокими содержаниями РЗЭ (до 1.13%, ср. 0.85%). В его разрезе отмечается прослой (сл. 20) мощностью 0.1 м весьма необычного состава. Он обогащен КДР (P_2O_5 14.77%), который сцементирован карбонатом (CO_2 12.81%) при пониженном содержании СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 9.2%) и особенно глинистого материала (Al_2O_3 2.2%). Удивительным является аномально высокое содержание урана в фосфатном веществе – 0.55%. В то же время по количеству РЗЭ (0.70%) карбонатный слой не выделяется.

Для сравнения отметим, что в кровле пласта расположен еще один прослой (сл. 25) мощностью 0.1 м, обогащенный рыхлым (трухлявым) КДР “рыжего” цвета (P_2O_5 14.7%), но бескарбонатный; здесь содержание урана в фосфате (0.15%) уже аналогично преобладающим значениям для пласта (и залежи) в целом.

Итак, в Мангышлакском рудном районе, как и в Ергенинском, КДР, накапливавшийся в относительно глубоководных обстановках, характеризуется в целом повышенной металлоносностью (U 0.35% и выше, РЗЭ 1.3%), несмотря на более низкую сульфидность руд – $S_{\text{пир.}}$ 9% (на Степном 16%). Отложениям относительно мелководных условий свойственна повышенная концентрация КДР, но металлоносность его понижена: U 0.2%, РЗЭ 0.9%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изложенные в статье материалы показывают, что проблема металлоносности залежей КДР, несмотря на достаточно детальную их изученность, сталкивается с целым рядом вопросов, еще не находящихся определенного решения.

В этой связи уместно отметить, что фосфатное вещество в осадочных породах, как правило, характеризуется наличием редких элементов, наибольшее внимание среди которых в свое время привлекал уран. Проблема фосфоритов как комплексного сырья впервые была обозначена В.Н. Холодовым [1963]. Автором указывалось, что содержание урана в фосфоритах изменяется в широких пределах – от 0.0007 до 0.06%, а РЗЭ от 0.02 до 0.14% (среднее 0.08%). В последней работе, посвященной урану в фосфоритах [Батулин, Коченов, 2001], было показано, что диапазон колебаний урана в фосфоритах, включая самые древние, докембрийские составляет 20–130 г/т (в среднем 75 г/т).

Таблица 5. Распределение изученных компонентов в пласте 2 Меловой залежи

№№ разреза и проб	Содержание, %					
	P_2O_5	$S_{\text{пир.}}$	Al_2O_3	U на P_2O_5	РЗЭ на P_2O_5	CO_2
24-16	1.50	7.12	15.73	0.26	1.49	–
24-15	5.99	11.14	10.79	0.16	0.86	0.57
24-14	0.78	5.02	15.90	0.22	1.47	3.34
24-13	3.25	15.64	11.93	0.25	1.58	0.22
24-12	1.29	6.56	13.39	0.28	1.10	5.12
24-11	4.52	12.60	10.67	0.26	1.07	1.10
24-10	3.00	11.90	12.04	0.27	1.41	1.01
24-9	2.19	12.54	13.10	0.30	1.17	0.79
24-8	7.20	10.03	8.91	0.26	1.43	4.53
24-7	3.89	12.68	10.87	0.34	1.40	1.04
24-6	10.83	16.49	6.34	0.30	1.23	0.75
24-5	11.97	13.23	6.81	0.30	1.36	0.88
24-4	8.27	9.86	10.46	0.32	1.21	0.53
24-3	11.62	12.02	7.37	0.32	1.30	0.79
24-2	16.89	9.99	5.14	0.37	1.24	1.36
Ср. по разрезу	6.21	11.12	10.63	0.28	1.28	
Подстилающие глины						
24-1	0.41	2.80	20.02	0.46	1.18	0.22

По сравнению с приведенными показателями концентрация U и РЗЭ в костном фосфате всегда намного выше (более чем на порядок). Так, в Ергенинском районе средние содержания рассматриваемых элементов для 13 залежей изменяются в следующих пределах: U 0.10–0.31% (ср. 0.21%), РЗЭ 0.84–1.44% (ср. 1.14%); на Мангышлаке (6 залежей) эти колебания составляют: U 0.10–0.32% (ср. 0.20%), РЗЭ 0.70–1.25% (ср. 0.92%) (табл. 7).

Как видно, средняя ураноносность КДР в залежах Ергеней и Мангышлака практически одинакова (0.20–0.21%), а для РЗЭ изменяется незначительно (0.92–1.14%); средние содержания по рудным районам следующие: U 0.20%, РЗЭ 1.03%.

Более высокую металлоносность костного фосфата по сравнению с традиционными (“хемогенными”) фосфоритами было естественно связывать с наличием в КДР реакционноспособного белкового органического вещества, которое создавало в осадке резковыраженную восстановительную, сероводородную среду, наиболее благоприятную для фиксации редких элементов, концентрация которых в фосфатном веществе возрастала в мелких пористых неминерализованных разностях за счет увеличения свободной поверхности фосфатного вещества костей, контро-

Таблица 6. Распределение изученных компонентов в рудных пластах Томакской залежи

№№ пробы	Содержание, %					
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅	CO ₂
Покрывающая глина						
27	0.21	3.00	19.00	0.15	3.03	—
26	0.46	3.10	19.20	0.15	1.51	—
Ср. по глине	0.33	3.05	19.10	0.15	2.27	—
Верхний пласт						
25	14.70	7.80	6.60	0.15	0.62	—
24	3.75	22.05	6.65	0.17	1.13	—
23	2.27	11.00	13.80	0.14	1.10	—
22	8.53	14.60	8.45	0.16	0.78	—
21	8.09	6.00	11.00	0.14	0.83	—
20	14.77	9.20	2.20	0.55	0.70	12.84
19	10.11	10.60	7.65	0.16	0.69	—
18	6.56	13.47	9.99	0.14	0.78	0.35
17	2.95	4.60	15.0	0.18	1.01	—
Ср. по разрезу	7.97	11.03	9.03	0.19	0.85	—
Промежуточная глина						
16	0.20	1.20	21.40	0.15	1.51	—
15	0.22	4.14	17.70	0.34	1.80	—
Ср. по глине	0.21	2.67	19.55	0.24	1.65	—
Средний пласт						
14	11.25	13.49	6.73	0.14	0.67	0.84
13	15.38	8.64	5.96	0.15	0.71	1.14
12	10.81	9.29	8.59	0.17	0.75	0.92
11	23.78	5.10	2.26	0.19	0.70	2.16
Ср. по разрезу	15.30	9.13	5.88	0.16	0.71	—
Промежуточная глина						
10	0.34	2.71	19.19	0.25	1.25	—
9	0.48	2.30	18.53	0.25	0.82	—
Ср. по глине	0.41	2.50	18.86	0.25	1.03	—
Нижний пласт						
8	2.95	16.65	11.02	0.48	1.54	—
7	0.22	1.73	19.16	0.29	—	—
6	12.97	11.63	6.53	0.20	0.65	0.88
5б	9.29	7.22	10.37	0.15	0.49	0.62
5а	13.51	15.53	4.78	0.18	0.30	0.88
5	6.56	18.03	7.90	0.22	0.97	0.31
4	0.61	1.79	19.87	0.17	0.69	0.26
3	4.30	21.41	7.65	0.08	0.24	—
2	4.79	16.95	9.42	0.07	0.32	—
Ср. по разрезу	6.13	12.33	10.74	0.20	0.65	—
Подстилающая глина						
1	0.60	2.04	19.10	0.14	0.70	—

Таблица 7. Средний состав руд верхнеолигоценовых залежей Центральной части Восточного Паратетиса

Залежи	Среднее содержание, %				
	P ₂ O ₅	S _{пир.}	Al ₂ O ₃	U на P ₂ O ₅	PЗЭ на P ₂ O ₅
Мангышлакский рудный район					
Меловая	4.20	11.63	12.37	0.32	1.25
Томакская	8.50	11.20	11.50	0.22	0.93
Тайбагарская	8.00	9.30	10.0	0.16	0.79
Тасмурунская	5.16	15.30	7.00	0.23	0.88
Садырнынская	3.14	9.50	12.00	0.21	0.96
Унэринская	9.44	7.56	9.00	0.10	0.70
Ср. по залежам	6.41	10.75	10.31	0.20	0.92
Ергенинский рудный район					
Степновская	4.80	16.00	7.50	0.31	1.44
Шаргадыкская	13.60	15.40	5.30	0.10	0.84
Богородская	5.68	16.00	6.90	0.16	1.06
Багабурульская	17.40	8.10	6.00	0.13	0.98
Северо-Восточная часть Багабурульского рудного поля	15.00	7.70	3.50	0.21	1.04
Южно-Буратинская	16.50	9.00	4.80	0.21	1.04
Прудовая	17.80	8.60	8.00	0.27	1.18
Центральная	3.90	12.80	8.80	0.23	1.16
Нугринская	6.00	5.00	8.10	0.27	1.50
Северо-Харабулукская	10.60	6.30	8.60	0.24	1.27
Яшкульская	6.70	12.50	9.98	0.14	1.45
Троицкая	7.00	12.50	8.20	0.12	0.77
Черноземельская	2.11	11.80	–	0.23	0.85
Ср. по залежам	9.80	10.90	7.14	0.21	1.14
Черкесская (С. Кавказ)	1.40	15.80	–	0.13	0.48
Ср. по провинции	5.87	12.45	8.72	0.18	0.85

лирующей их сорбционную емкость [Коченов, Столяров, 1996 и др.].

Предполагалось также, что резко восстановительные условия формирования залежей могли способствовать генерации сульфидов железа и связанного с ними комплекса халькофильных элементов (Ni, Co, Mo и др.).

Обобщение имеющихся по рассматриваемой проблеме обширных материалов, а также приведенная в статье характеристика строения и геохимических особенностей отдельных типов залежей позволяет более детально проанализировать некоторые ранее специально не рассматривавшиеся вопросы металлогенности залежей КДР.

Прежде всего необходимо подчеркнуть, что КДР и СЖ, несмотря на их постоянное совместное нахождение (парагенез), как правило, существенно различаются в количественном отношении. На это прежде всего указывает закономерная общая дифференциация залежей по

компонентному составу (см. табл. 7). Как видно, высокосернистые залежи обычно являются низкофосфорными и наоборот. Исключение составляет Шаргадыкская залежь, но и в ее пределах, как было показано, высокофосфорные и высокосернистые образования пространственно разделены.

Становится достаточно очевидным, что СЖ не являлись простой функцией бактриального разложения белкового органического вещества костных скоплений, поскольку железо имело определенное самостоятельное значение в общем процессе осадконакопления. Оно привносилось в морской бассейн, однако его источник, а также некоторые особенности седиментации, в том числе образование выдержанных на многие десятки километров “сульфидных прослоев”, пока остаются проблематичными [Коченов, Столяров, 1960, 1996; Столяров, Шарков, 1976 и др.].

Наиболее яркими примерами гигантских сульфидных образований являются Степновская за-

лежь в Ергенях и Черкесская на Северном Кавказе протяженностью более 50 км [Столяров, Ивлева, 2004а, б].

Высокосульфидные разности руд, формировавшиеся в наиболее восстановительных условиях диагенеза, казалось бы, всегда должны характеризоваться повышенной металлоносностью КДР. Действительно, в пределах Степновской залежи (ср. $S_{\text{пир.}}$ 16%) металлоносность фосфатного вещества в целом наиболее значительная: U 0.25–0.45% (ср. 0.31%), а РЗЭ 1.2–2.1% (ср. 1.44%). В то же время другие высокосернистые ($S_{\text{пир.}}$ 15–16%) залежи (Шаргадыкская, Богородская, Черкесская), наоборот, характеризуются самой низкой металлоносностью: U 0.10–0.16%, РЗЭ 0.48–1.0% (см. табл. 7).

Как видно, металлоносность КДР в целом не зависит от степени сульфидности руд. Вместе с тем, можно отметить некоторые закономерные соотношения между количеством КДР и его металлоносностью. Так, высокофосфорные залежи ($P_2O_5 > 10\%$) обычно характеризуются более низкими содержаниями урана в КДР (0.1–0.24%), чем средне- и низкофосфорные (до 0.29–0.31%) (см. табл. 7). Еще более значительно эти колебания могут проявляться для отдельных частей (слоев) залежей: в высокофосфорных – 0.07–0.20%, а в низкофосфорных – 0.2–0.5%.

Поведение РЗЭ в целом аналогичное: более интенсивно (1.0–1.5%) они концентрируются в залежах с пониженным количеством КДР (P_2O_5 10%) и меньше (0.8–1.2%) в высокофосфорных разностях. Заметным исключением является Черкесская залежь, где при среднем значении P_2O_5 1.4% содержание РЗЭ всего 0.48%, а U 0.13%.

В целом же, как правило, в больших скоплениях КДР концентрация рассматриваемых элементов в фосфатном веществе уменьшается, что прежде всего относится к урану. При среднем 4–6-кратном превышении содержаний РЗЭ над ураном в некоторых высокофосфорных залежах эта величина достигает 7–8 (Шаргадыкская, Унэринская залежи).

Увеличение металлоносности фосфатного вещества при снижении количества КДР отмечается и в пределах низкофосфорных разностей руд. Так, на Степновской залежи (ср. P_2O_5 4.8%) в слоях с содержанием P_2O_5 1.2–2.3% металлоносность КДР заметно возрастает: U до 0.39–0.41% (ср. 0.31%), РЗЭ до 1.7–2.1% (ср. 1.44%) (см. табл. 1, 7). Наконец, в глинистых прослоях с содержанием P_2O_5 0.2–0.8% и $S_{\text{пир.}}$ 3.2–6.5% отмечается наиболее высокая ураноносность в расчете на фосфатное вещество – 0.45–1.2%. По-видимому, ее следует связывать с высокой дисперсностью фосфатного материала.

Вместе с тем, имеют место и обратные примеры, когда в низкофосфорной (P_2O_5 6.7%) Яш-

кульской залежи Ергеней происходит резкое снижение ураноносности КДР (0.14%) при стабильно высоком содержании РЗЭ (1.45%). В результате залежь становится существенно редкоземельной, с десятикратным преобладанием РЗЭ над ураном.

Рассматривая характер металлоносности КДР в зависимости от компонентного состава руд, следует отметить и наличие в них карбонатного материала. Ранее отмечалось [Столяров, Ивлева, 1995; Столяров, Коченов, 1996], что повышенное содержание последнего на некоторых залежах Мангышлака (Тайбагарская, Тасмурунская) отрицательно сказывается, главным образом, на количестве урана в КДР, которое снижается до 0.16–0.23% (см. табл. 7). Вместе с тем, в пределах Степновской и Шаргадыкской залежей Ергеней, как было показано ранее, карбонатный материал не оказывает существенного влияния на металлоносность фосфатного вещества. Более того, на Томакской залежи Мангышлака был установлен аномальный по составу прослой мощностью 0.1 м (%): CO_2 12.84, P_2O_5 14.77, $S_{\text{пир.}}$ 9.2, Al_2O_3 2.2 с существенно повышенной концентрацией урана в КДР (0.5%), резко выделяющейся на фоне преобладающих значений 0.14–0.19%; при этом содержание РЗЭ (0.7%) существенно не изменяется. В чем причины резкого возрастания ураноносности КДР в карбонатном, высокофосфорном прослое, пока остается неясным.

Рассматривая изменения компонентного состава и металлоносности залежей с фациальных позиций можно отметить следующее. В отложениях относительно мелководных зон бассейна КДР, как правило, образует более высокие концентрации, чем в глубоководных, где он не подвергается взмучиванию и обогащению. Однако и в таких обстановках залежи часто бывают низкофосфорными (Тасмурунская, Садырнынская, Яшкульская и др.) [Столяров, Ивлева, 1991, 1995; Столяров, Коченов, 1995; Шарков, 2000].

Поведение СЖ в фациальном отношении также неоднозначно. С одной стороны, представляется закономерным их интенсивное развитие в относительно глубоководных, резко восстановительных условиях с образованием крупномасштабных сульфидных залежей (Степновская) и протяженных пластов и прослоев. Вместе с тем, масштабное сульфидообразование свойственно и относительно мелководным зонам бассейна (Черкесская, Шаргадыкская, Тасмурунская и др. залежи).

В этом отношении наиболее наглядной представляется залежь месторождения Мелового (см. табл. 4). В ее пределах пласты 1 и 2, формировавшиеся в более глубоководной обстановке, характеризуются пониженной сульфидностью ($S_{\text{пир.}}$ 8.4–9.1%), тогда как пласты 3 и 4 с более мелководными признаками осадконакопления, наобо-

рот, выделяются повышенным содержанием СЖ ($S_{\text{пир.}}$ 14.5%).

Не всегда определенным образом сказывается влияние фациальных условий также на металлоносности КДР. С одной стороны, в относительно глубоководных зонах при пониженной концентрации КДР, независимо от количества СЖ, отмечается самая высокая его металлоносность (Степновская залежь, пласты 1 и 2 Меловой залежи). В то же время, в подобных фациальных обстановках КДР может содержать и незначительное количество урана (0.05–0.16%).

При формировании залежей в относительно мелководных условиях металлоносность КДР в них более низкая, независимо от его количества и степени сульфидности руд. Однако и здесь она испытывает колебания, местами значительные: U 0.27%, РЗЭ 1.5% (Прудовая, Нугринская и др. залежи) (см. табл. 7), что сопоставимо с металлоносностью глубоководных низкофосфорных залежей.

Можно также отметить, что накопление в отдельных залежах значительного количества карбонатного материала не всегда отрицательно сказывается на металлоносности КДР, а в отдельных случаях в карбонатных прослоях отмечаются даже резко повышенные концентрации урана.

Все сказанное выше весьма затрудняет определение оптимальных фациально-геохимических условий, благоприятных для концентрации рассматриваемых элементов в фосфатном веществе остатков рыб.

При этом важно подчеркнуть, что среди КДР целиком отсутствуют нематаллоносные разности как в составе залежей, так и за их пределами в ореолах рассеяния и далее в “рыбных фациях” на всей обширной территории позднеолигоцевого морского бассейна Предкавказья, Волго-Дона и Мангышлака.

Для залежей указанного бассейна Восточного Паратетиса мы впервые попытались определить средние геохимические показатели, характеризующие состав рассматриваемых образований в целом (%): P_2O_5 5.87, $S_{\text{пир.}}$ 12.45, Al_2O_3 8.72, U 0.18, РЗЭ 0.85 (см. табл. 7).

Как видно, залежи КДР в пределах всей эталонной провинции их развития в целом характеризуются высокими средними значениями урана и РЗЭ, более чем на порядок превышающими таковые в традиционных (“хемогенных”) фосфоритах: U 0.0075%, РЗЭ 0.08% [Холодов, 1963; Батурин, Коченов, 2001].

Следует обратить внимание и еще на одно обстоятельство. Рассматриваемые залежи КДР в среднем на 25% сложены сульфидами железа и на 44% глинистым материалом, что не характерно для фосфатных осадочных образований. Пока остаются неясными причинно-следственные взаи-

моотношения между КДР и СЖ в общем эволюционном процессе, приводящем к формированию залежей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение еще раз подчеркнем, что целый ряд вопросов, связанных с условиями формирования металлоносных залежей КДР, как было показано в материалах статьи, до настоящего времени остаются дискуссионными.

В металлогеническом отношении наиболее остро выступает проблема источника рудных элементов, начиная с огромных масс железа, поступление которых обычно не находит непосредственной связи с областями питания на суше. От последних приходится абстрагироваться и при определении источников всех элементов, связанных с КДР.

Вместе с тем, пока нет и аргументированных доказательств возможности эндогенного поступления в бассейн всех рассматриваемых элементов по зонам глубинных разломов.

Решение проблемы источников вещества при формировании уникальных металлоносных залежей КДР требует дальнейших целенаправленных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Батурин Г.Н., Коченов А.В. Уран в фосфоритах // Литология и полез. ископаемые. 2001. № 4. С. 353–373.
- Блох А.М., Коченов А.В. Элементы-примеси в костном фосфате ископаемых рыб // Геология месторождений редких элементов. Вып. 24. М.: Недра, 1964. 108 с.
- Коченов А.В., Столяров А.С. О некоторых формах выделения сульфидов в разрезе майкопских отложений Южного Мангышлака // Докл. АН СССР. 1960. Т. 133. № 6. С. 1412–1415.
- Коченов А.В., Зиновьев В.В. Распределение редкоземельных элементов в фосфатных остатках рыб из майкопских отложений // Геохимия. 1960. № 8. С. 714–725.
- Коченов А.В., Мстиславский М.М., Столяров А.С. Ископаемые металлоносные залежи костного детрита рыб // Состояние и задачи советской литологии. М.: Наука, 1970. С. 165–171.
- Коченов А.В., Столяров А.С. Проблема генезиса марганцевых и ураново-редкометаллических руд в майкопской формации // Литология и полез. ископаемые. 1996. № 2. С. 182–195.
- Мстиславский М.М., Коченов А.В. Майкопские костные брекчии и гибель рыб в “красных водах” // Докл. АН СССР. 1960. Т. 134. № 5. С. 1169–1172.
- Столяров А.С. Новые данные по стратиграфии олигоценовых отложений Южного Мангышлака // Бюлл. ОНТИ МГиОН. 1958. № 3. С. 8–10.
- Столяров А.С., Шарков А.А. О некоторых особенностях седиментации в морском олигоценовом бассейне

Южного Мангышлака // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1976. № 6. С. 20–32.

Столяров А.С., Ивлева Е.И., Рехарская В.М. Металлоносность ископаемых залежей костного детрита рыб в майкопских отложениях // Литология и полез. ископаемые. 1991. № 1. С. 61–71.

Столяров А.С., Ивлева Е.И. Металлоносные залежи костного детрита рыб в майкопских отложениях Ергенинского рудного района // Литология и полез. ископаемые. 1991. № 6. С. 70–83.

Столяров А.С., Коченов А.В. Металлоносность майкопских отложений Мангышлака // Литология и полез. ископаемые. 1995. № 2. С. 161–172.

Столяров А.С., Ивлева Е.И. Ураново-редкометалльные месторождения, связанные с пластовыми концентрациями костного детрита рыб // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах. М.: Наука, 1995. С. 200–222.

Столяров А.С., Ивлева Е.И. Верхнеолигоценовые отложения Предкавказья, Волго-Дона и Мангышлака (Центральная часть Восточного Паратетиса). Сообщение 1. Основные особенности состава и строения // Литология и полез. ископаемые. 2004а. № 3. С. 252–270.

Столяров А.С., Ивлева Е.И. Верхнеолигоценовые отложения Предкавказья, Волго-Дона и Мангышлака (Центральная часть Восточного Паратетиса). Сообщение 2. Фациально-палеогеографические условия осадконакопления // Литология и полез. ископаемые. 2004б. № 4.

Холодов В.Н. О редких и радиоактивных элементах в фосфоритах // Тр. ИМГРЭ. 1963. Вып. 17. С. 67–108.

Шарков А.А. Особенности строения и условия формирования органогенно-фосфатных месторождений урана и редких земель Южного Мангышлака // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 3. С. 290–307.