

УДК 541.11

КОСТНЫЙ ДЕТРИТ В ОСАДКАХ ОКЕАНА ТЕТИС

© 2019 г. Г. Н. Батури

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
e-mail: galibatur@list.ru

Поступила в редакцию 04.02.2019 г.

После доработки 04.02.2019 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

Выполнено сравнительное изучение геохимии костного детрита в подошве месторождения Меловое (Южный Мангышлак, олигоцен-миоцен) и в современных ураноносных отложениях на шельфе Намибии, в которых определено содержание макро- и микроэлементов. В обоих случаях установлено сходство микроэлементного состава костей и вмещающих осадков, а также частичное сходство древних и современных осадков и костей. Наряду с этим выявлено сходство урановой минерализации в майкопских костях и в костном материале на современном шельфе. Палеогеографические данные о майкопском бассейне свидетельствуют, что формирование рудных залежей происходило в мелководной биопродуктивной шельфовой зоне, где многократно случались массовые заморы фауны, аналогично тому, что эпизодически происходит на шельфах современного океана. Определенные геохимические различия между минеральным и химическим составом современных и древних костей связаны с повышенным содержанием урана и других микроэлементов в водах Тетиса за счет испарения морских вод и сопутствующей концентрации растворенных металлов при регрессии океана.

Ключевые слова: океан Тетис, геохимия и металлоносность, костный детрит, уран, редкие элементы, костные брекчии

DOI: 10.31857/S0030-1574595791-802

ВВЕДЕНИЕ

Одним из природных явлений в океанах являются массовые заморы рыб и прочей морской фауны, что оказалось связанным с нарушением режима циркуляции прибрежных вод. Причина этих явлений была установлена только в конце прошлого столетия как неизбежное последствие биопродуктивности шельфовой зоны океана и глобальной системы циркуляции океанских вод.

Высокая биопродуктивность этих зон сопряжена с высокой смертностью фауны, приводит к накоплению на дне массы костей, которые являются сорбентами растворенных в морской воде металлов и превращаются со временем в рудоносные костные брекчии, сопоставимые с рудами цветных металлов на континентах. Одним из таких примеров являются костные брекчии океана Тетис, где изобиловали биогенные осадки (рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наземный материал для настоящей работы передан автору А.А. Шарковым и другими сотрудниками ВИМСа, а образцы со дна океана

собраны автором в нескольких экспедициях на исследовательских судах Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН.

Для настоящей работы использован детрит фоссилизированных костей рыб из подошвы основной рудной залежи месторождения Меловое, состоявшего из различных по величине и составу костей. Гранулометрический состав определялся в аналитической лаборатории ВИМСа методом ситового анализа. Элементный состав материала определяли методом ИСП-МС в Институте особо чистых материалов РАН под руководством В.К. Карандашева [23]. В связи с этим для оценки состава залежи использовался нижний слой, состоящий из мелкого костного детрита, являющегося средней пробой, образовавшейся в результате дробления костей волнами, когда залежь находилась в мелководной зоне моря.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа основного состава материала (табл. 1) показывают, что содержание оксидов главных породобразующих элементов в крупных фракциях в значительной степени

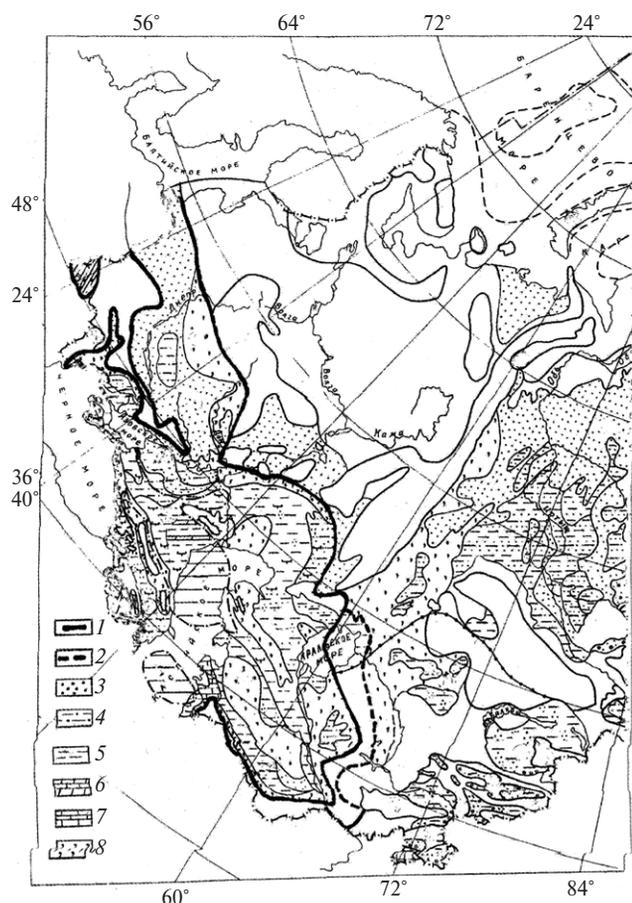


Рис. 1. Палеогеографическая схема Майкопского моря на территории бывшего СССР в раннем олигоцене [45].

1 — береговая линия Майкопского моря; 2 — эпизодически затопляемая низменность; 3–8 — типы осадков: 3 — пески; 4 — алевриты; 5 — глины; 6 — доломиты; 7 — известняки; 8 — зона эрозии подстилающих пород.

соответствует их содержанию в штуфе, а в тонких фракциях — либо выше (кремний, алюминий), либо ниже (кальций, марганец).

Во фракциях меньше 0.1 мм увеличивается содержание оксидов кремния, алюминия, титана, натрия, калия и магния. Одновременно понижается содержание кальция, серы, углекислоты, частично марганца и отношения кальция к фосфору.

Распределение в гранулометрических фракциях микроэлементов (табл. 2) более разнообразно. Значительная часть их накапливается в тонких гранулометрических фракциях, что относится к элементам Ag, Ba, Cr, Cu, Hg, Pb, Rb, Sn, V и Zn.

Редкоземельные элементы, как и уран, накапливаются во всех гранулометрических фракциях, кроме двух самых мелких, что представляет

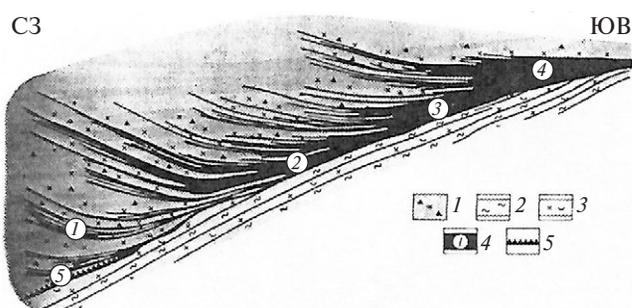


Рис. 2. Продольный разрез рудной залежи месторождения Меловое [49].

1 — темно-серые глины, обогащенные остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 2 — светлые глины с ходами илоедов; 3 — серые глины с редкими остатками рыб; 4 — рудные пластины и их номера; 5 — сульфидный прослой.

интерес как биогенный тип рудогенеза, а также вероятный рудный ресурс.

Для высокой концентрации металлов в костях требуется не только длительность их экспозиции, но и повышенное содержание урана в воде Тетиса, когда объем его сокращался, а содержание урана в воде возрастало. По мнению Столярова и Ивлевой [39–41], это происходило за счет стока поровой воды из обнажающихся осадков при отступлении океана. Но данные по геохимии поровых вод этого не подтверждают, и повышение содержания урана в воде происходит за счет усыхания всего бассейна [4–6].

Такой цикл событий продолжался в течение всего времени сокращения Тетиса, о чем свидетельствуют многочисленные скопления ураноносных костей на дне бывшего глобального бассейна.

Значительная часть северного Паратетиса представляла собой в олигоцене и раннем миоцене обширный бассейн (рис. 1), соединявшийся с Палео-Балтикой и названный майкопским морем по аналогии с нефтеносной майкопской свитой Предкавказья.

В отложениях этого бассейна широко распространены кости рыб и морских млекопитающих с повышенным содержанием урана и редкоземельных элементов. В ряде районов (прикаспийская западная часть Казахстана и Калмыкия) этот материал образует рудные залежи в форме серии линз и пластов мощностью до десятков сантиметров, расслаивающихся от прибрежной к глубоководной зоне наподобие “конского хвоста” (рис. 2) [49], что свидетельствует о неоднократных перебивах и переотложении костного материала. Наиболее крупная залежь — место-

Таблица 1. Основной состав гранулометрических фракций рудного детрита (%)

Элемент	Штуф	Фракции, мм							
		3-2	2-1	1-0.5	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	<001	<0.001
SiO ₂	9.40	-	5.49	8.37	7.54	11.95	18.98	34.14	23.26
Al ₂ O ₃	2.9	1.9	2.3	2.5	2.6	2.3	5.4	12.3	9.8
TiO ₂	0.013	0.08	0.11	0.11	0.11	0.15	0.25	0.49	0.35
Na ₂ O	1.1	0.70	0.38	0.86	1.30	0.89	1.0	3.1	6.0
K ₂ O	0.77	0.45	0.44	0.55	0.61	0.90	1.1	3.3	2.4
CaO	34.3	30.6	33.2	30.7	30.0	37.4	16.0	5.7	9.0
MgO	0.63	0.36	0.53	0.46	0.48	1.30	0.79	2.1	2.0
Fe ₂ O ₃	10.7	15.2	14.4	11.0	8.0	4.4	22.0	12.7	9.9
MnO	0.16	0.21	0.33	0.17	0.13	0.012	0.16	0.097	0.084
P ₂ O ₅	20.2	19.1	21.5	20.8	25.3	22.7	13.2	11.5	19.3
S _{общ}	-	11.6	10.9	8.3	-	2.3	-	4.0	2.6
C _{карб}	7.94	12.26	5.85	4.94	5.96	6.88	7.32	1.02	1.57
C _{орг}	2.78	1.05	1.50	1.85	2.48	2.87	3.20	2.10	2.22
P ₂ O ₅	1.70	1.60	1.54	1.47	1.18	1.65	1.21	0.50	0.47
Fe/S	-	0.91	0.92	0.93	-	1.3	-	2.2	2.6

рождение Меловое в южной части Мангышлака — к настоящему времени выработана, дав для развития атомной промышленности 44 000 т урана [33], но на других, меньших по размеру залежах, близких по своему составу к Меловому, ресурсы урана не исчерпаны, и работы по их исследованию и освоению продолжают входить до настоящего времени.

Систематическое исследование рудного региона, его стратиграфии, литологии, минералогии и геохимии рудных и сопутствующих отложений проводилось начиная с середины прошлого века, преимущественно коллективом сотрудников ВИМСа, что описано в ряде обстоятельных публикаций [5, 7–9, 12, 25–28, 32–34, 36, 39–43, 46–51].

Основная часть исследованной породы сложена относительно крупными обломками костей и песчаным материалом, а остальная часть представлена алевритовой и пелитовой фракциями. В пористых костях присутствует небольшое количество пелитового, преимущественно глинистого, материала.

В рудном материале доминирует биогенный фосфат кальция в форме гидроксилapatита и фторкарбонатапатита. Существенными компонентами являются сульфиды железа — пирит, моносulfиды железа и промежуточные формы (мельниковит, пирит-мельниковит и др.). Нерудный материал представлен главным об-

разом глинистыми минералами, в меньшей степени кварцем, биогенными карбонатами, реже биогенным опалом (видимо, остатками диатомовых водорослей).

Особый интерес вызывают формы нахождения урана, по поводу которых выдвигались противоречивые предположения, включая сорбцию урана органическим веществом, формирование меланоидиновых комплексов, вхождение урана в кристаллическую решетку биогенного апатита, формирование собственных минералов урана [36]. Согласно новым результатам [12], полученным современными методами аналитической электронной микроскопии, основными формами урана, концентрирующегося главным образом в костном детрите, являются оксид урана (уранинит) UO₂, коффинит USO₄, нингиоит (U, Ca, Ce)₂(PO₄)₂H₂O, отенит (называемый иногда урановой слюдой) Ca(UO₂)(PO₄)₂(10H₂O) и черчит YPO₄(2H₂O) (рис. 3).

Результаты анализов основного и микроэлементного состава руды и ее гранулометрических фракций представлены в таблицах 1–3.

По мере уменьшения размеров частиц в их составе увеличивается содержание литогенных компонентов — кремнезема, глинозема, титана, а также натрия, калия, магния и органического углерода, что сопровождается неравномерным уменьшением содержания кальция и фосфора.

Таблица 2. Микроэлементный состав гранулометрических фракций руды и пирита, г/т

Элемент	Штуф	Размер фракций, мм								Пирит
		3-2	2-1	1-0.5	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	<0.01	<0.001	
Ag	0.75	0.73	0.25	0.73	0.59	0.86	1.9	1.6	2.3	0.14
As	72	220	100	112	60	87	150	98	61	100
Ba	215	183	212	290	180	155	200	300	210	32
Be	4.2	4.5	2.4	4.7	4.8	2.9	1.8	2.1	1.7	<0.07
Bi	0.74	0.53	0.42	0.56	0.69	0.21	1.3	0.92	0.66	0,075
Cd	5.7	6.1	7.1	7.6	5.7	19.1	5.3	6.7	7.0	1.6
Co	160	129	103	132	120	8	210	234	253	19
Cr	40	35	42	44	45	204	64	153	150	14
Cs	1.8	1.5	1.2	1.8	1.1	2.3	1.8	8.6	7.4	0.8
Cu	297	278	130	259	280	25	600	530	640	22
Ga	5.3	7.6	8.0	9.7	4.9	7.2	6.7	17.4	15.0	1.7
Hg	<0.1	0.30	0.50	0.51	-	0.19	-	2.0	2.9	<0.2
Hf	2.6	1.0	1.0	1.3	<0.08	0.56	0.45	2.6	2.4	0.27
Li	14.5	7.4	11.1	8.7	11	12	19	50	44	3.4
Mo	214	361	109	150	130	7	290	143	81	140
Nb	1.8	1.4	1.5	1.8	1.7	1.9	3.7	7.4	5.0	1.0
Ni	469	272	222	261	280	83	400	563	623	130
Pb	64	46	33	55	53	21	84	72	65	13
Rb	24	15	16	20	15	34	28	101	89	12
Re	1.5	0.51	0.32	0.47	0.59	0.26	0.68	1.0	1.4	0.06
Sb	30.2	33.0	11.8	28.2	24.0	7.8	43.0	29.7	21.5	21.0
Sc	29.2	20.6	14.4	21.3	20.0	15.6	15.0	12.8	11.1	1.9
Se	30.1	29.2	19.5	29.1	<10	12.6	<25	13.6	8.3	<2
Sn	1.5	1.2	1.1	1.4	2.0	1.0	10	28	62	0.44
Sr	2389	6486	1116	3559	3700	1866	1900	1293	1624	44
Ta	0.33	0.21	0.19	0.26	0.39	0.14	0.39	0.67	0.49	<0.1
Te	1.1	1.9	1.1	1.4	1.2	<0.4	2.8	1.6	1.3	<0.6
Th	11.3	8.4	5.0	11.4	7.6	26.2	21.0	6.6	4.7	1.7
Tl	13.0	12.5	5.7	10.5	11.0	29.5	14.0	10.6	7.6	4.9
U	1484	1053	411	1066	3400	95	2000	273	229	22
Y	670	798	706	927	830	318	630	48	40	23
V	76	64	74	74	70	87	130	229	209	<0.2
W	1.1	0.58	0.80	1.2	0.82	1.4	0.92	1.4	1.5	0.22
Zn	786	707	571	827	700	65	950	977	1383	33
Zr	96.6	54.6	48.8	68.6	38.0	29.7	110	85.0	76.3	14

Тонкие фракции обеднены также марганцем и CO_2 . Содержание общего железа (условно приводимое в виде Fe_2O_3 , но представленного сульфидом) и общей серы меняется неравномерно, в пределах соответственно 4.4–22.0% и 2.3–11.6% (табл. 1).

Отношение $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ меняется в пределах 1.18–1.65 в песчано-алевритовых фракциях, но в пелитовых снижается до 0.47–0.50, что, вероятно, обусловлено сорбцией фосфата глинистым материалом и заменой кальция железом и другими катионами в структуре апатитовидного минерала [17].

Отношение Fe/S возрастает от 0.91–0.93 в песчаных фракциях до 1.3 в алевритовой и 2.2–2.6 в пелитовой, что связано с преобладанием пирита в песчаных фракциях и моносulfида (мельниковита) в пелитовой.

Распределение большинства микроэлементов во фракциях неравномерно (табл. 2). Наиболее широки диапазоны концентраций, т. е. соотношения минимальной и максимальной величины, для олова (60 раз), урана, молибдена, цинка, кобальта (30–35 раз), меди, иттрия, гафния (20–25 раз), серебра, ртути, теллура (~10 раз). Наиболее стабильно распределение мышьяка, бария, бериллия, кадмия, галлия, свинца, скандия, селена, ванадия, тантала и циркония.

Крупные фракции обогащены относительно мелких бериллием, скандием, селеном, стронцием, иттрием, а мелкие — значительно большим количеством элементов: серебром, барием, кобальтом, цезием, медью, галлием, ртутью, гафнием, литием, ниобием, никелем, рубидием, рением, оловом, танталом, ванадием и вольфрамом, которые тяготеют преимущественно к терригенной составляющей породы. Особое место в этом ряду занимают фракции 0.1–0.05 и 0.05–0.01 мм. В первой из них установлены минимальные содержания

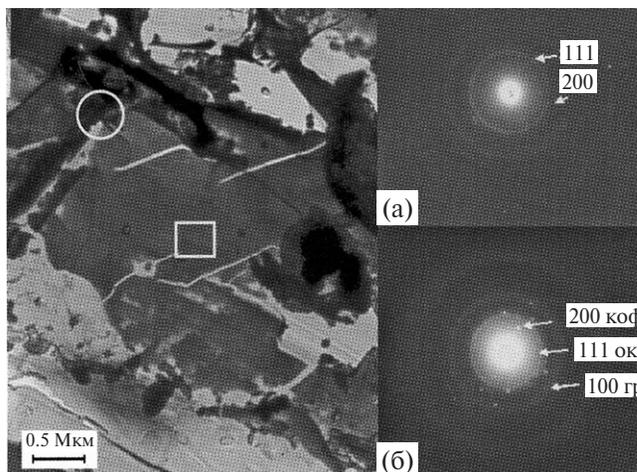


Рис. 3. Минералы урана в руде месторождения Меловое [12].

Обломок кости, на котором образовалась пленка уранинита (*квадрат*); полость у верхнего края обломка (*круг*) заполнена многофазным материалом, включая коффинит (*коф*), уранинит (*ок*) и графит (*гр*); (а) и (б) — соответствующие микродифракционные картины (МДК). Просвечивающий электронный микроскоп.

бария, висмута, кадмия, меди, ртути, молибдена, никеля, свинца, рения, сурьмы, олова, тантала, теллура, урана, иттрия, вольфрама, циркония и цинка, что сочетается с минимальным

Таблица 3. Редкоземельные элементы в гранулометрических фракциях руды и в пирите

Элемент	Штуф	Гранулометрические фракции, мм								Пирит
		3-2	2-1	1-0.5	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	<0.01	<0.001	
La	598	509	490	602	550	212	340	41.9	29.6	13
Ce	949	788	789	979	920	516	610	78.3	56.5	26
Pr	140	95.4	89.7	114	120	53.9	82	9.1	6.6	3.2
Nd	611	400	376	513	580	205	360	36	28.6	13
Sm	130	80.2	74	87.6	120	43.6	80	7.2	6.2	3.4
Eu	30	19.9	18.7	24.4	33	9.6	20	1.7	1.5	0.81
Gd	189	112	97.4	140	160	50.7	100	8.3	7.1	3.7
Tb	25	16.5	14.5	20	26	7.5	16	1.2	1.0	0.49
Dy	154	96.6	85.7	126	140	43.2	100	7.1	6.1	2.7
Ho	39.9	20.8	18.6	24.5	32	9.0	20	1.5	1.3	0.55
Er	88	59.0	51.7	69	90	25.6	49	4.3	3.8	1.3
Tm	11.7	7.7	7.0	9.4	10	3.5	7	0.58	0.54	0.19
Yb	82.6	50.9	42.3	62.4	70	22.7	46	4.1	3.5	1.0
Lu	11	7.5	6.0	9.4	10	3.4	6.8	0.62	0.55	0.13
Σ TR	3059	2264.5	2160.6	2780.7	2761	1205.7	1836.8	201.9	152.9	69.5
Ce*	0.72	0.77	0.81	0.81	0.78	1.06	0.81	0.87	0.88	0.89
Eu*	0.82	0.90	0.95	0.90	0.93	0.83	0.90	0.85	0.97	0.99

* — цериевая и европиевая аномалии.

содержанием трех макроэлементов — марганца, железа и серы. Судя по соотношению Fe/S (табл. 1), эти элементы входят частично в состав пирита и частично в состав моносulfида, которые могут играть существенную роль в накоплении ряда микроэлементов. Об этом свидетельствует также состав трех последних гранулометрических фракций, максимально обогащенных именно моносulfидом, а также серебром, мышьяком, барием, висмутом, кобальтом, медью, ртутью, молибденом, никелем, свинцом, рением, сурьмой, оловом, ванадием, вольфрамом и цинком.

В то же время встречающиеся в рудных пластах конкреции полнокристаллического пирита обеднены большинством микроэлементов и содержат (г/т): Sr — 44, Zn — 38, Y — 23, U — 22, Cu — 22, Co — 19, Pb — 13, Rb — 12, Tl — 4.9, Li — 3.4, Se — <2, Th — 1.7, Cd — 1.6, Sn — 0.44, Ag — 0.14, V и Hg — <0.2, Bi — 0.075, Re — 0.06. Повышенные концентрации установлены только для никеля (130 г/т) и молибдена (140 г/т). В исследованных ранее трех образцах фосфоритовых конкреций из тех же отложений [9] содержание урана, иттрия, ванадия и цинка выше, чем в пирите, но ниже, чем в рассматриваемых фракциях. Содержание ряда других микроэлементов в фосфоритовых конкрециях сопоставимо с таковым в пирите или несколько выше.

При сопоставлении содержаний рудогенных и некоторых сопутствующих микроэлементов (согласно полученным аналитическим данным) корреляционные связи установлены между следующими парами элементов: сурьма—уран, рений—свинец, медь—кобальт, серебро, в меньшей степени—никель, висмут—мышьяк.

В распределении редкоземельных элементов (РЗЭ) (табл. 3) наблюдаются те же особенности, которые свойственны другим микроэлементам. В частности, минимальное содержание свойственно пелитовому материалу, обедненному фосфором. Обращает на себя внимание то, что суммарное содержание РЗЭ в рудном штуфе несколько выше, чем во фракциях. Видимо, это свидетельствует о том, что в ходе выполнения водно-механического анализа часть РЗЭ, слабо связанная с субстратом, десорбировалась, перешла в раствор и была утрачена.

Расчет величин цериевой и европиевой аномалий по принятой методике нормализации содержания Се и Еu по сланцам и соотношению с соседними элементами [21, 59] показывает, что обе они незначительно ниже единицы, т. е. близ-

ки к средней величине для глинистых осадочных пород и для верхнего слоя вод океана. Исключением является лишь один образец (фракция 0.1–0.05 мм) со слабой положительной цериевой аномалией, которая иногда проявляется в прибрежных водах под влиянием континентального стока.

Ранее сообщалось, что в рассматриваемых костных брекчиях установлена положительная европиевая аномалия, свидетельствующая якобы о вулканогенном источнике рудного вещества [49]. Но приведенные результаты показывают, что прежние определения, полученные в прошлом веке вышедшими из употребления слабо чувствительными методами, не согласуются с реальной картиной спектра РЗЭ, который свидетельствует об отсутствии какого-либо влияния вулканизма на рудный процесс.

Важный аспект геохимии рассматриваемых руд состоит в оценке их перспектив как источника благородных металлов. В свое время первооткрыватель месторождения Меловое Нифонтов [35] сообщил, что золото в руде присутствует и связано преимущественно с пиритовой фракцией, однако в течение многих лет это исследование не было продолжено. Недавно с помощью нейтронно-активационного метода были выполнены выборочные анализы нескольких образцов (табл. 4) [13]. Полученные результаты, приведенные в табл. 4, подтвердили первое сообщение Р. В. Нифонтова о приуроченности золота к пиритовой фракции — в ней присутствует около 0.5 г/т Au, но в руде в целом на порядок меньше. Мало золота также в костном фосфате (зуб акулы) — всего 0.03 г/т. В отличие от золота, платина находится преимущественно в костном фосфате (3.2 г/т), в меньшей степени, в валовой пробе руды (0.6 г/т) и в пирите (0.3 г/т). Элементы платиновой группы, содержание которых на 1–3 порядка ниже, распределяются иначе. В руде наблюдаются лишь следы осмия, при минимуме иридия (0.23 мг/т). В остальных образцах содержание этих металлов находится в пределах 3.68–8.31 (Os) и 2.48–5.27 (Ir) мг/т. Содержание рутения возрастает в ряду: пирит — фосфат — руда — алевритовая фракция руды, от 20.6 до 90.6 мг/т. Сообщалось также [50], что содержание палладия (Pd) в сульфидном концентрате руды составляет 26 мг/т (табл. 4). Но в целом вопрос о содержании, распределении и формах нахождения благородных металлов в рудах этого типа выяснен недостаточно.

Таблица 4. Содержание благородных металлов в руде и ее компонентах, мг/т

Элемент	Руда	Фракция 0.25–0.1 мм	Зуб акулы	Пирит
Au	70	5.55	30.9	483
Pt	600	166	3200	302
Os	<0.6	8.31	3.68	4.1
Ir	0.23	5.27	2.48	3.32
Ru	77	90.6	34.5	20.6
Pd	26	-	-	26

ДИАТОМОВЫЕ ИЛЫ ШЕЛЬФА НАМИБИИ И ЗАРОЖДЕНИЕ ФОСФОРИТОВ

Первые сообщения о существовании на шельфе Намибии углеродистых сероводородных осадков появились в середине прошлого века [57, 58].

Как выяснилось в дальнейшем, диатомовые илы, накапливающиеся со скоростью до 1 мм/год в результате бурного развития фитопланктона в биопродуктивной зоне Бенгельского апвеллинга, распространены на внутреннем и частично внешнем шельфе Намибии на глубинах преимущественно 50–150 м. Основными макрокомпонентами их состава являются биогенный опал (до 60%) и органическое вещество (до 10–26% $C_{\text{орг}}$), а также значительное количество фосфатного детрита — свежие и слабо минерализованные кости и чешуя рыб, кости и фосфатизированные копролиты морских млекопитающих. Описанию распространения, минералогии и элементного состава этих отложений и содержащихся в них костей посвящен ряд публикаций [1, 2, 6, 10, 14–16, 22, 38, 55, 56]. В составе этих осадков были впервые обнаружены современные фосфоритовые стяжения разнообразных форм размером от 1–3 мм до 5–7 см в поперечнике, включая мягкие пластичные, более или менее уплотненные и твердые литифицированные разности [1, 4, 6].

На внешнем шельфе Намибии, южнее зоны распространения диатомовых илов, находится поле переотложенных фосфатных песков плиоцен-плейстоценового возраста, в которых также присутствует костный детрит [4, 6, 53, 54]. Как показало электронно-микроскопическое исследование минерального состава выбранных из осадков и частично минерализованных костей [11], фосфат представлен несколькими генерациями, включая слабо измененный первичный гидроксилпатит, колломорфный фосфат, глобулярный фосфат разных модификаций и в той или иной мере кристаллизованный

фторкарбонатапатит. Гидроксилпатит присутствует в виде волокнистых агрегатов, но местами переотложен в виде колломорфной массы, местами трансформирующейся в глобулы и короткостолбчатые кристаллы фторкарбонатапатита.

В фосфате минерализованных костей часто присутствует пирит в форме кубоктаэдрических кристаллов размером до 3 мкм и кристаллизованных глобул до 1 мкм в диаметре. Минералы урана представлены уранинитом (агрегаты глобул размером 1–2 мкм и пленки на поверхности фосфата) и коффинитом (овальные частицы размером до 0.5 мкм среди колломорфного и зернистого фосфата) (рис. 3) [12].

СОПОСТАВЛЕНИЕ СОСТАВА МАЙКОПСКИХ И СОВРЕМЕННЫХ ШЕЛЬФОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И КОСТНОГО ФОСФАТА

Полученные результаты позволяют оценить, насколько значимы черты сходства и различия в составе рассматриваемых отложений, включая рудные компоненты (кости) и вмещающие породы и осадки.

Рассмотрение среднего основного состава майкопских глин рудной зоны и современных диатомовых илов шельфа Намибии [53, 57, 58] показывает, что первые относительно богаче алюминием, титаном, магнием, калием, железом и марганцем, в то время как вторые обогащены кремнеземом (за счет опала диатомей), кальцием и фосфором (за счет присутствия биогенного карбонатного и фосфатного детрита), а также органическим углеродом.

Для микроэлементного состава сравниваемых пород характерно заметное относительное обогащение майкопских глин бериллием, висмутом, кобальтом, свинцом, сурьмой, цезием, галлием, гафнием, литием, ниобием, рубидием, торием, танталом, цирконием, а также элемен-

тами 3-й группы таблицы Менделеева — скандием, иттрием и РЗЭ.

Диатомовые илы относительно обогащены лишь кадмием, но по содержанию серебра, мышьяка, бария, хрома, меди, молибдена, никеля, олова, таллия, урана, ванадия и цинка они близки к майкопским глинам.

Что касается собственно металлоносных костей, то сопоставление майкопского и современного материала выявляет сходные черты их состава.

Майкопские кости относительно обогащены барием, бериллием, висмутом, кобальтом, медью, никелем, свинцом, цинком, ураном, сурьмой, стронцием, скандием, иттрием и РЗЭ. Но кости с шельфа Намибии богаче по сравнению с майкопскими кадмием, хромом, цезием, ниобием, рубидием и ванадием, при более или менее близких содержаниях серебра, мышьяка, цезия, галлия, гафния, лития, молибдена, рения, олова, тантала, тория, таллия, вольфрама и циркония.

Для графического сопоставления микроэлементного состава костного материала элементы расположены в порядке увеличения их распространенности в глинистых осадочных породах, по данным Виноградова [19] (рис. 4). График демонстрирует в целом однотипный характер распределения большей части микроэлементов в исследованных майкопских и современных костях. По сравнению со средним составом глинистых осадочных пород в обеих группах костей наблюдаются положительные пики содержаний

висмута, серебра, кадмия, молибдена, мышьяка, свинца, цинка, стронция и всех элементов 3-й группы периодической системы Менделеева. С другой стороны, наблюдаются отрицательные пики содержаний таллия, бериллия, тантала, гафния, вольфрама, тория, цезия, кобальта, ниобия, галлия, лития, хрома, рубидия и бария.

По всей видимости, такой параллелизм в распределении большей части микроэлементов в ископаемых костях со дна майкопского моря и в современных костях с шельфа Намибии свидетельствует о единстве или, по крайней мере, сходстве процессов их минерализации в ходе седиментогенеза, диагенеза, эпигенеза и, возможно, элизионных явлений [44].

О ГЕНЕЗИСЕ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ КОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Проблема генезиса рудных костных отложений майкопского бассейна включает в себя, наряду с геологическими и геохимическими, также и океанологические аспекты, а именно — причины колоссальной популяции рыб в эоценовом море, причины их локализации в нескольких конкретных участках бассейна и причины образования скоплений костных остатков морской фауны, включая рыб и морских млекопитающих.

В связи с тем, что базисом рудного процесса явились скопления костей, коснемся океанологической части проблемы.

Биопродуктивность водоемов зиждется на продуктивности фитопланктона, которая, в свою очередь, лимитируется наличием биогенных элементов, в первую очередь растворенного в воде фосфора [20]. Высокая и максимальная биопродуктивность океана в целом свойственна зонам прибрежного апвеллинга, где обогащенные биогенными элементами воды поднимаются к поверхности с глубин порядка 100–250 м, что обеспечивает рост первичной продукции фитопланктона до величин порядка 5–10 г $C_{орг}/м^2/сутки$, т. е. на один-два порядка выше, чем в открытом океане [60]. В результате в этих районах наблюдается максимальная концентрация планктоноядных рыб, а вслед за ними — хищных рыб и морских млекопитающих. По данным рыбаков и ихтиологов, продукция промысловых рыб достигает в таких зонах 100 т/км²/год и более.

Следствием высокой биопродуктивности является накопление на дне отложений, обогащен-

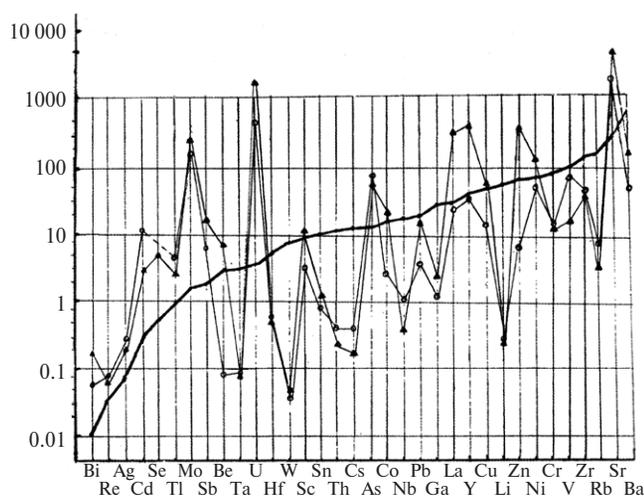


Рис. 4. Схема распределения средних содержаний микроэлементов в костном материале из руды месторождения Меловое (треугольники) и в современных костях с шельфа Намибии (кружки). Жирная линия — среднее содержание элементов в глинистых осадочных породах [19, 61].

ных как органическим веществом, так и костными остатками организмов, которые сохраняются на дне, где донная фауна отсутствует в результате спорадического или перманентного заражения придонного слоя воды сероводородом, диффундирующим из осадков, в которых развиваются сульфат-редуцирующие бактерии [60].

Дополнительным обстоятельством, способствующим накоплению на дне костного детрита, являются периодические массовые заморы морской фауны, повторяющиеся с той или иной интенсивностью через 3–5 лет по двум причинам: либо в связи с эпизодическим развитием ядовитого планктона (в частности, некоторых видов динофлагеллят), либо в связи с подъемом границы зоны сероводородного заражения к поверхности океана, что иногда приводило к распространению сероводорода даже в прибрежной полосе суши [57, 58].

Биопродуктивная шельфовая зона прибрежного апвеллинга у побережья юго-западной Африки (Намибия и ЮАР) простирается примерно на 1800 км от устья реки Кунене до южной оконечности Африки при ширине шельфа от нескольких км до 150–200 км и при общей площади порядка 3000 км².

Можно предположить, что при одноактном массовом заморе ихтиофауны на площади 1000 км² погибает около 100 000 т рыбы, и на дно поступает порядка 10 000 т костей, в которых накапливается 100 т урана. При тысячекратном повторении таких эпизодов количество урана возрастет до 100 000 т, что примерно соответствует оценке рудного потенциала майкопских костеносных отложений. Судя по результатам глубоководного бурения в этой зоне, апвеллинговый режим существовал здесь миллионы лет, в течение которых массовые заморы происходили при условиях, аналогичных современным.

Длительность эпохи накопления костных отложений в майкопском море также составляла, по-видимому, несколько млн лет, в течение которых такие эпизоды повторялись тысячи раз. В то же время вполне вероятно, что и при отсутствии массовых заморов накопление костного материала происходило на дне при естественном отмирании ихтиофауны, которая концентрировалась в ограниченных по площади зонах прибрежного апвеллинга.

Результаты морских геохимических исследований свидетельствуют, что рудный процесс в морских бассейнах питается стоком с окружа-

ющей суши, наиболее интенсивном при высоком отношении площади водосбора к площади бассейна, что в полной мере относится к изолированному от Мирового океана майкопскому морю, в водах которого концентрация растворенных металлов могла быть выше, чем в современном океане. Уран, молибден и некоторые сопутствующие металлы накапливаются в мелководных прибрежных осадках, обогащенных органическим веществом, и еще более интенсивно в биогенном фосфатном материале, до величин порядка 10⁻³–10⁻²% U, что наблюдается, как было показано выше, в современных осадках океана и некоторых морей [3, 4, 6].

Условия для более интенсивного накопления металлов в костях возникают на постседиментационной стадии в результате эпигенетических процессов [24, 31, 52], что, вероятно, имело место в майкопских месторождениях. Согласно недавним наблюдениям [37], залежи костного фосфата, расположенные в депрессиях и находящиеся в восстановительной среде, сохраняются и, возможно, продолжают обогащаться металлами за счет циркуляции анаэробных подземных вод, в то время как другие залежи, поднятые неотектоническими подвижками выше уровня грунтовых вод, подвержены окислению и разубоживаются в результате окисления, растворения и миграции металлов за пределы зоны первоначального накопления.

С другой стороны, результаты электронно-микроскопического исследования образцов майкопских руд также свидетельствуют о некоторых вторичных минеральных преобразованиях рудного материала, связанных, по-видимому, с эпигенетическими процессами [37, 51]. Это позволяет предположить, что на раннем этапе формирования руд содержание в них ряда металлов было несколько ниже максимального (как в большинстве образцов костей с современных шельфов), но в дальнейшем повысилось под воздействием эпигенетических процессов — циркуляции в осадочной толще рудоносных растворов, обогащенных металлами, извлекаемыми из дренируемых пород.

О реальности такого сценария свидетельствует, в частности, феномен Челекена (у юго-восточного побережья Каспия), где металлоносные гидротермы достигают дневной поверхности и высачиваются в течение по крайней мере нескольких последних десятилетий [29, 30].

Более того, при выполнении буровых работ в пределах рудного поля месторождения Ме-

ловое из скважин фонтанировала горячая вода, о составе которой, к сожалению, ничего не сообщалось [50].

В целом приведенные данные позволяют сделать вывод, что описанный выше процесс накопления ураноносных костей на современном шельфе Намибии является уменьшенной копией более масштабного, но близкого по сути рудного процесса в майкопском бассейне.

В качестве альтернативы этой концепции приводилась гипотеза о вулканогенном происхождении металлоносных костных отложений, включая все звенья рудного процесса и сопряженных явлений: поставку вулканами фосфора как источника биопродуктивности, поставку урана, РЗЭ и цветных металлов для формирования руд, поставку железа и серы для формирования пирита, поставку сероводорода как первопричины массовых заморозов фауны [46–50].

Для обоснования этой гипотезы требуются соответствующие весомые доводы из области вулканологии, геохимии и океанологии, которые единичны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные свидетельствуют, что рудоносные майкопские костные отложения миоценового моря и современные костные брекчии на дне океана близки по ряду основных показателей, включая следующие.

1. Фациальные условия рудного процесса были обусловлены биогенным осадконакоплением в мелководной среде в пределах зоны максимальной биологической продуктивности.
2. Накоплению костного материала способствовали массовые заморы фауны.
3. Несмотря на диапазон состава отдельных гранулометрических фракций детрита, их валовый состав однороден, что подтверждается корреляционными расчетами.
4. Вмещающие костный фосфат древние и современные отложения обогащены, с одной стороны, органическим веществом и биогенным фосфором, а с другой стороны — близким комплексом микроэлементов.
5. Накапливающийся в древних и в современных костях уран приурочен к фосфатной фазе.
6. В рудном материале концентрируются те же микроэлементы, которые рассеяны во вмещающих осадках.
7. Основной и особенно микроэлементный состав костного фосфата в майкопской руде

близок к таковому в костях рыб и морских млекопитающих, накапливающихся на современном шельфе Намибии.

8. Сокращение Тетиса сопровождалось обогащением морской воды ураном и фосфором за счет речного стока, размывающего бывшие морские осадки, что способствовало биопродуктивности отступающего моря, а с другой стороны — накоплению урана в костном фосфате на дне древнего океана.

Следовательно, такое давно известное и распространенное в осадочных комплексах явление, как металлоносные “рыбные кладбища” [18], крупнейшими из которых являются урано-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, обусловлено специфическими условиями осадочного процесса в биологически продуктивных окраинных частях древних и современных бассейнов.

Согласно современным данным об эволюции Тетиса, в период полноводности его глубина превышала 4 км, и в нем накапливались металлоносные осадки. Но при сокращении площади моря его объем уменьшался, а количество растворенных в воде металлов увеличивалось, что привело к максимальному обогащению ураном костного детрита.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2019-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батулин Г. Н. Аутигенные фосфоритовые конкреции в современных осадках шельфа Юго-Западной Африки // Докл. АН СССР. 1969. Т. 189. № 6. С. 1359-1362.
2. Батулин Г. Н. О геологических последствиях массовых заморозов ихтиофауны в океане // Океанология. 1974. Т. 14. № 3. С. 101-105.
3. Батулин Г. Н. Уран в современном морском осадкообразовании. М.: Атомиздат, 1975. 152 с.
4. Батулин Г. Н. Фосфориты на дне океанов. М.: Наука, 1978. 230 с.
5. Батулин Г. Н. Уран и торий в фосфатизированных костных остатках со дна океана // Литология и полезн. ископаемые. 2001. № 2. С. 115-125.
6. Батулин Г. Н. Фосфатонакопление в океане. М.: Наука, 2004. 464 с.
7. Батулин Г. Н. Металлоносность майкопских костных брекчий и костного детрита со дна океана // Докл. РАН. 2008. Т. 421. № 2. С. 234-239.
8. Батулин Г. Н. Современные рудные фации в зонах прибрежного океанского апвеллинга // Геология морей и океанов. Матер. XVIII Междун. школы морской геологии. 2009. Т. 2. С. 224-227.

9. Батури́н Г. Н. О геохимии рудных костных отложений Майкопского моря // Докл. РАН. 2011. Т. 237. № 3. С. 384-388
10. Батури́н Г. Н., Блисковский В. З. Редкие элементы в костном фосфате со дна океана // Литология и полезн. ископаемые. 1974. № 1. С. 101-103.
11. Батури́н Г. Н., Дубинчук В. Т. О составе фосфатизированных костей в современных осадках // Литология и полезн. ископаемые. 2003. № 3. С. 313-323.
12. Батури́н Г. Н., Дубинчук В. Т. Генезис минералов урана и редких земель в костном детрите редкометальных месторождений // Докл. РАН. 2011. Т. 438. № 4. С. 506-509.
13. Батури́н Г. Н., Колесов Г. М. Благородные металлы в Fe-Mn и фосфатных отложениях океана // Геология морей и океанов. Матер. XVIII Междун. школы мор. геологии. М.: ИО РАН, 2009. Т. 2. С. 232-235.
14. Батури́н Г. Н., Орешкин В. Н. Поведение кадмия в костном детрите со дна океана // Геохимия. 1984. № 8. С. 1231-1237.
15. Батури́н Г. Н., Тамбиев С. Б., Ляпунов С. М. Редкоземельные элементы в биогенных фосфатах со дна океана // Геохимия. 1986. № 11. С. 1636-1643.
16. Батури́н Г. Н., Юшина И. Г. О геохимии биогенных осадков и фосфатных микроконкреций на шельфе Намибии // Геохимия. 2002. № 11. С. 1218-1228.
17. Блисковский В. З. Вещественный состав и обогащенность фосфоритовых руд. М.: Недра, 1983. 200 с.
18. Блох А. М., Коченов А. В. Элементы-примеси в костном фосфате ископаемых рыб. Геология месторождений редких элементов. Вып. 24. М.: Недра, 1964. 108 с.
19. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
20. Виноградов А. П. Основы геохимии океана. М.: Наука, 1967. 216 с.
21. Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
22. Емельянов Е. М. Распределение и состав илов на шельфе юго-западной Африки // Тр. ИО АН СССР. 1973. Т. 95. С. 211-238.
23. Карандашев В. К., Хвостиков В. А., Носенко С. В., Бурмий Ж. П. Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Вып. 82. № 7. С. 6-15.
24. Кисляков Я. М., Щеточкин В. Н. Гидрогенное рудообразование. М.: Геоинформмарк, 2000. 612 с.
25. Коченов А. В., Дубинчук В. Т., Гермогенова Е. В. Форма нахождения урана в фосфатных остатках ископаемых рыб // Советская геология. 1973. № 3. С. 69-77.
26. Коченов А. В., Зиновьев В. В. Распределение редкоземельных элементов в фосфатных остатках рыб из майкопских отложений // Геохимия. 1960. № 8. С. 714-725.
27. Коченов А. В., Мстиславский М. М., Столяров А. С. Ископаемые металлоносные залежи костного детрита рыб // Состояние и задачи советской литологии. 1970. М.: Наука, С. 165-171.
28. Коченов А. В., Столяров А. С. Проблема генезиса марганцевых и ураново-редкометальных руд в майкопской формации // Литология и полезн. ископаемые. 1996. № 2. С. 182-195.
29. Лебедев Л. М. Современные рудообразующие системы. М.: Недра, 1975. 262 с.
30. Лебедев Л. М., Никитина И. Б. Челекенская рудообразующая система. М.: Наука, 1983. 240 с.
31. Лисицын А. К. Гидрогеохимия рудообразования (на примере экзогенных эпигенетических урановых руд). М.: Недра, 1975. 248 с.
32. Машковцев Г. А., Коченов А. В., Халдей Е. А. О гидротермально-осадочном образовании стратиформных урановых месторождений в фанерозойских депрессионных структурах // Редкометально-урановое рудообразование в осадочных породах. М.: Наука, 1995. С. 37-51.
33. Машковцев Г. А., Мигута А. К., Щеточкин В. Н. Роль ВИМСа в создании и развитии минерально-сырьевой базы урана // Разведка и охрана недр. 2005. № 10. С. 59-71.
34. Мстиславский М. М., Столяров А. С. О литологических особенностях майкопских отложений Южного Мангышлака // Литология и полезн. ископаемые. 1968. № 6. С. 160-166.
35. Нифонтов П. В. К вопросу о хемогенной золотонности некоторых осадочных пород и ее значение для образования россыпных месторождений // Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 4. Россыпи. С. 58-62.
36. Полушкина А. П. Минералогия месторождения Меловое на Мангышлаке // Осадочные месторождения урана СССР. М.: ВИМС, 1960. С. 29-53.
37. Расулова С. Д., Тарханова Г. А., Каминов Б. Ю. Особенности формирования Балковского экзогенно-эпигенетического месторождения в отложениях миоцена // Поиски и разведка. 2008. № 11. С. 18-23.
38. Сенин Ю. М. Особенности осадкообразования на шельфе юго-западной Африки // Литология и полезн. ископаемые. 1968. № 4. С. 108-111.
39. Столяров А. С., Ивлева Е. И. Ураново-редкометальные месторождения, связанные с пластовыми концентрациями костного детрита рыб // Редкометально-урановое рудообразование в осадочных породах. М.: Наука, 1995. С. 200-222.
40. Столяров А. С., Ивлева Е. И. Верхнеолигоценые отложения Предкавказья, Волго-Дона и Мангышлака (Центральная часть Восточного Паратетиса). Сообщение 3 // Литология и полезн. ископаемые. 2004. № 5. С. 504-522.
41. Столяров А. С., Ивлева Е. И., Рехарская В. М. Металлоносность ископаемых залежей костного детрита рыб в майкопских отложениях // Литология и полезн. ископаемые. 1991. № 1. С. 61-71.
42. Столяров А. С., Коченов А. В. Металлоносность майкопских отложений Мангышлака // Литология и полезн. ископаемые. 1995. № 2. С. 161-172.

43. *Столяров А. С., Шарков А. А.* О некоторых особенностях седиментации в морском олигоценевом бассейне Южного Мангышлака // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1976. № 6. С. 20-32.
44. *Холодов В. Н.* Модель элизионной рудообразующей системы и некоторые проблемы гидротермально-осадочного рудогенеза // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах. М.: Наука, 1995. С. 10-32.
45. *Цеховский Ю. Г., Столяров А. С., Соколова Е. А.* Литолого-фациальная и палеогеографическая обстановки позднего олигоцена и раннего миоцена на территории бывшего СССР // Геологические и биотические события позднего эоцена-раннего олигоцена. Ч. 2. М.: ГЕОС, 1998. С. 124-138.
46. *Шарков А. А.* Литология рыбной подсытки верхнего олигоцена Южного Мангышлака // Литология и полезн. ископаемые. 1963. № 2. С. 262-272.
47. *Шарков А. А.* Особенности строения и условия образования органогенно-фосфатных месторождений урана и редких земель Южного Мангышлака // Литология и полезн. ископаемые. 2000. № 3. С. 290-307.
48. *Шарков А. А.* О генезисе органогенно-фосфатных месторождений урана и редких земель Мангышлака // Отечественная геология. 2005. № 6. С. 29-41.
49. *Шарков А. А.* Ураново-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, их генезис. М.: Связь-Принт, 2008. 220 с.
50. *Шарков А. А., Печенкин И. Г.* Ураново-редкометалльное месторождение Меловое органогенно-фосфатного типа на Мангышлаке. М.: САМ Полиграфист, 2009. 116 с.
51. *Шарков А. А., Иванов В. В., Школьник Э. Л. и др.* Минералогия органогенно-фосфатных руд ураново-редкометалльных месторождений Мангышлака и Калмыкии. М.: САМ Полиграфист, 2010. 142 с.
52. Экзогенные эпигенетические месторождения урана (условия образования). Под ред. А. И. Перельмана. М.: Атомиздат, 1965. 324 с.
53. *Baturin G. N.* Some unique sedimentological and geochemical features of deposits in coastal upwelling regions // Coastal upwelling. Its sediment record / Eds. Suess E., Thiede Y., N.Y. — L.: Plenum Press, 1983. Pt. B. P. 11-27.
54. *Bremner J. M.* Sediments on the continental margin off South-West Africa between Sylvia Hill and the Kunene River. Ph. D. Thesis. Univ. Cape Town. 1978. 300 p.
55. *Brongersma-Sanders M., Stephan K. M., Kwee T. G., De Bruin G.* Distribution of minor elements in cores from the Southwest Africa with notes on plankton and fish mortality // Mar. Geol. 1980. V. 37. № 1. P. 91-132.
56. *Calvert S. E., Price N. B.* Geochemistry of Namibian shelf sediments // Coastal upwelling- its sediment record / Eds. Suess E., Thiede Y., N.Y. — L.: Plenum Press, 1983. Pt. A. P. 337-375.
57. *Copenhagen W. J.* Occurrence of sulfides in certain areas of the sea bottom on the South Africa coast // Invest. Rep. Fish. Mar. Biol. Surv. S. Afr. 1934. № 11 (3). 18 p.
58. *Copenhagen W. J.* The periodic mortality of fish in the Walvis region: A phenomenon within the Benguela Current // Invest. Rep. Dep. Comm. and Fish. 1953. № 14. P. 1-15.
59. *Gromet L. P., Dymek R. F., Haskin L. A., Korotev R. I.* The "North American composite": Its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. et cosmochim. acta. 1984. V. 48. № 12. P. 2469-2482.
60. *Ryther J. H.* Photosynthesis and fish production in the Sea // Science. 1970. V. 166. № 3901. P. 72-76.
61. *Turekian K., Wedepohl K. H.* Distribution of elements in some major units of the earth crust // Bull. Geol. Soc. Am. 1961. V. 72. № 2. P. 175-190.

BONE DETRITUS IN SEDIMENTS OF TETHIS OCEAN

© 2019 г. G. N. Baturin

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: galibatur@list.ru

Received February 04, 2019

Revised version received February 04, 2019

After revision February 05, 2019

The comparative study of the Oligocene bone breccia geochemistry in the lower part of the Oligocene deposits (Mangyshlak, Oligocene — Miocene) has been studied along with the recent uranium deposits. Studies of the Namibian shelf samples where the series of macro- and microelements have been analyzed, including major and minor elements, which shows their similarity of major elements and miner elements in the both deposits old and Recent samples. From the other side the similarity between uranium mineralization has been found in the uranium mineralization in Maikop and recent bones on the Namibian shelve. The paleogeographic data of the Maikop Basin showed that the ore deposits have been formed in the productive shallow sea where mass mortality of the fish happened often as well as in present Ocean. The high values of metal concentration is the older bones in the Tethis are related to evaporation and saturation of marine water.

Keywords: ancient ocean Tethis, high biological productivity, geochemistry, high concentration of uranium and rare metals, massive fish mortality