

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**  
**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА**

Основан в январе 1960	Периодичность 12 раз в год	Том 34, № 1	Январь 1993
--------------------------	-------------------------------	-------------	----------------

**СОДЕРЖАНИЕ**

Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г. Применение двухслойной конвекции к структурным особенностям и геодинамике Земли . . . . .	3
Шульдинер В. И. О геодинамике глубинных сечений архейской континентальной коры . . . . .	27
Летников Ф. А. К проблеме синергетики геологических систем . . . . .	34
Шарапов В. Н., Киргинцев А. Н., Милова Л. В. К проблеме термодинамического описания генезиса рудных магм . . . . .	57
Похиленко Н. П., Соболев Н. В., Бойд Ф. Р., Пирсон Г. Д., Шимизу Н. Мегакристаллические пироповые перидотиты в литосфере Сибирской платформы: минералогия, геохимические особенности и проблема происхождения . . . . .	71
Панков В. Ю., Олейников Б. В., Кришнамурти П., Гопалан К. Высокотитанистые фазы-узники в фенокристаллах плагиоклаза деканских траппов . . . . .	85
Еганов Э. А., Доржнамжаа Д., Миняйло Т. Н. Геологическая позиция фосфоритов Дзабханского суббассейна ( <i>Западная Монголия</i> ) . . . . .	90
Захаров В. А., Лапухов А. С., Шенфильд О. В. Иридиевая аномалия на границе юры и мела на севере Сибири . . . . .	102
Крылов С. В., Мишенькина З. Р., Кульчинский Ю. В., Тен Е. Н., Шелудько И. Ф. Характеристика сейсмоактивной литосферы для северо-востока Байкальского региона по данным детальных работ методом ГСЗ на <i>P</i> - и <i>S</i> -волнах . . . . .	110
Сурков В. С., Девятов В. П., Жеро О. Г., Казаков А. М., Крамник В. Н., Смирнов Л. В. Структура земной коры района Тюменской сверхглубокой скважины . . . . .	120
Пузырев Н. Н. Связь между предельными эффективными и средними скоростями . . . . .	127
Жирова Н. В., Мандельбаум М. М., Морозова Г. М., Неведрова Н. Н., Эпов М. И. Геоэлектрическая характеристика сейсмогенных структур Байкальского прогностического полигона . . . . .	133

## ИРИДИЕВАЯ АНОМАЛИЯ НА ГРАНИЦЕ ЮРЫ И МЕЛА НА СЕВЕРЕ СИБИРИ

На севере Сибири (п-ов Нордвик) на границе юры и мела в основании берриаса и подошве его базальной зоны (*Chetaites sibiricus*) в прослое фосфатного известняка толщиной 5—6 см метода ААА, НАА, РФА установлены anomalно высокие содержания благородных металлов: иридия (до 75,0 ppb), палладия (до 267,0 ppb), платины (до 12,0 ppb), рутения (до 37,0 ppb), родия (до 62,0 ppb) и золота (до 34,4 ppb). Доказывается космический источник благородных металлов. Их anomalно высокое содержание объясняется особенностями седиментационных процессов: удаленностью от источников сноса и связанной с этим недокомпенсацией осадконакопления в центральной части Хатангского палеобассейна.

Сообщение Л. и В. Альваресов с соавторами [8] об обогащении иридием и другими благородными металлами тонкого слоя пограничных между мелом и палеогеном глин на разрезе Губбио в Северной Италии, а также попытка авторов связать иридиевую аномалию с импактной гипотезой как причиной массового глобального вымирания организмов в конце мела вызвали небывалый интерес специалистов во всем мире к поискам иридиевых аномалий как на том же уровне, так и по всей геохронологической шкале. В результате четырехлетних интенсивных поисков аномалий на границе мезозоя—кайнозоя она была обнаружена более чем в 20 точках по всему земному шару как на континентах, так и в океанах, в морских и континентальных фациях [9].

Внимание исследователей привлекали, прежде всего, уровни массовых глобальных или полуглобальных вымираний или крупных перестроек в эволюции биоты, которые приурочены обычно к границам эратем и систем, иногда отделов и ярусов.

За последнее десятилетие повышенные содержания иридия обнаружены на ряде стратиграфических уровней, начиная с докембрия. Так, anomalные содержания иридия (в среднем 15 мг/т) установлены в аргиллитах калюсских слоев могилев-подольской серии верхнего венда Приднестровья [6] и на границах: кембрия—докембрия в подошве мейшущуньского яруса в Южном Китае [14], ордовика—силура в основании зоны *rearsculptus* в Южном Китае [19] и на разрезе Добс-Линн в Шотландии [20], франна—фамена в Западной Австралии [18], девона—карбона в Китае [12], перми и триаса в Китае [13, 22] и США, Колорадо [17], сеномана—турона, эоцена—миоцена, сервалалия—тортония [10], плейстоцена и голоцена на Южном Урале [4].

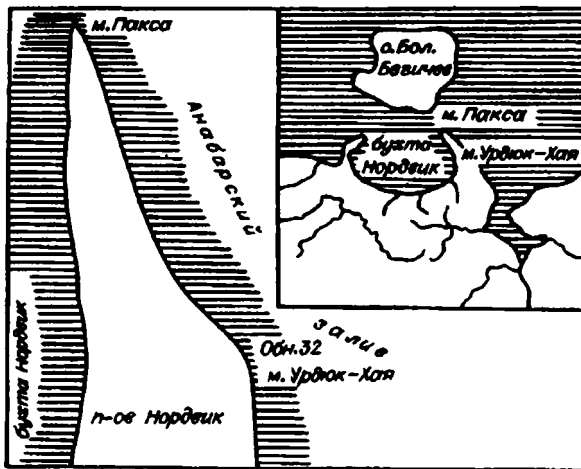
В большинстве из перечисленных публикаций высоким содержанием иридия придается важное или решающее значение при обосновании импактной природы биотических кризисов. Это побудило авторов настоящей статьи провести поиск anomalных содержаний благородных металлов, в частности иридия на тех стратиграфических уровнях, где не наблюдается ни массовых вымираний организмов, ни кризисных перестроек биоты в морских экосистемах [3, 21]. Одним из таких объектов являются пограничные слои между юрской и меловой системами на севере Сибири.

### Материал

Непрерывный разрез морских бассейновых фаций переходных между юрой и мелом отложений расположен на п-ове Нордвик, север Средней Сибири (рис. 1). Разрез представлен чередованием темно-коричневых битуминозных аргиллитов и голубовато-серых уплотненных глин верхнего волжского подъяруса и берриаса. Здесь установлена полная последовательность известных в Арктике аммонитовых зон и бухиазон (рис. 2) [2]. В подошве берриасской зоны *Practollia taupsi* находится пограничный между юрой и мелом слой фосфатного известняка толщиной 4—6 см. Он хорошо выдержан по простиранию и наблюдался на расстоянии около 5 км без видимых изменений. Макроскопически слой представляет собой тонкогоризонтально-

© В. А. Захаров, А. С. Лапухов, О. В. Шенфиль, 1993

Рис. 1. Местонахождение разреза пограничных переходных между юрой и мелом слоев на севере Сибири.



слоистую коричневатосерую породу. Темно-коричневый крап обычно преобладает в центральной части пропластка. По всему слою рассеяны, иногда в виде горизонтальных струй, включения сульфидов. Валовой химический состав проб, отобранных по мощности прослоя фосфатного известняка, приведен в табл. 1.

### Методика отбора проб и анализа благородных металлов

Из прослоя фосфатного известняка мощностью 5—6 см с помощью алмазной пилы были изготовлены послойные пластины толщиной 1 см, после измельчения которых подготовлены пробы для анализа благородных металлов. В связи с ожидаемыми низкими (близкокларковыми) содержаниями последних, для получения достоверных результатов авторами использован комплекс чувствительных методов анализа: радиохимический нейтронно-активационный анализ серебра и золота, кислотное вскрытие проб (3 г) в аналитических автоклавах, сорбционно-рентген-флуоресцентный, экстракционно-атомно-абсорбционный анализы золота, палладия, платины, рутения, иридия и осмия [7]. Золото определялось также радиохимическим нейтронно-активационным методом с пределом обнаружения 0,01 ppb. Одним из наиболее эффективных методов определения ультранизких концентраций иридия, осмия и рутения оказался разработанный авторами радиохимический способ с использованием микроплавки облученных проб на никелевый штейн.

Навеска пробы массой 0,5—1 г после облучения потоком  $(3-5) \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> и двухнедельного «охлаждения» сплавлялись при 1000—1050 °С с шихтой расчетного состава, специально подобранной для определенных типов горных пород и руд, в специально

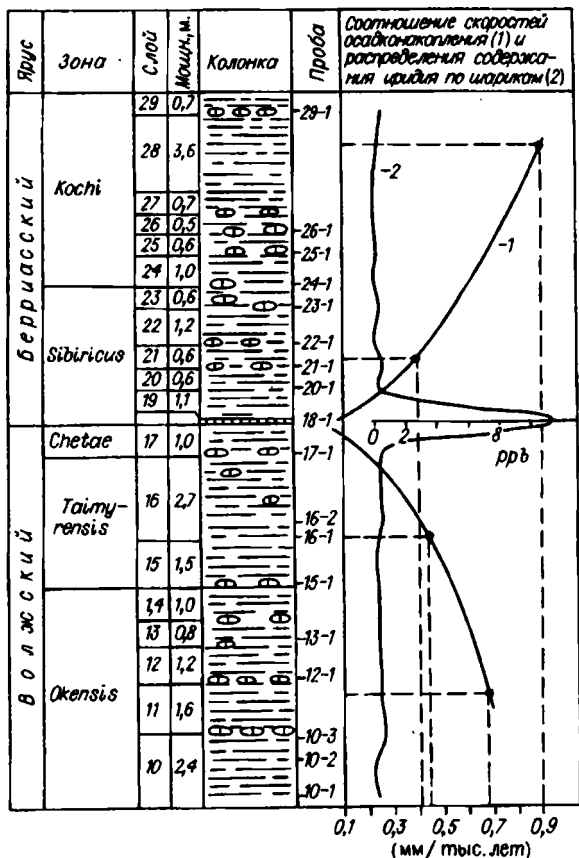


Рис. 2. Стратиграфическая колонка отложений на границе юры и мела (север Сибири, п-ов Нордвик).

Рис. 2. Стратиграфическая колонка отложений на границе юры и мела (север Сибири, п-ов Нордвик).

Таблица 1. Химический состав фосфатного известняка, мас. %

№ пробы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ba	П.п.п.	Сумма
18/1	10,22	0,164	3,50	3,85	0,170	2,18	41,55	1,08	0,41	22,497	0,247	13,70	99,57
18/2	5,68	0,091	1,81	2,73	0,162	2,05	47,48	0,84	0,25	28,205	0,334	10,24	99,86
18/3	4,78	0,066	1,60	2,47	0,166	1,89	47,90	0,96	0,21	27,167	0,301	11,93	99,44
18/4	6,96	0,101	2,33	3,77	0,337	2,08	44,75	0,82	0,27	24,106	0,252	13,37	99,14
18/5	10,83	0,182	3,76	4,75	0,209	2,35	41,05	0,90	0,47	17,231	0,177	17,90	99,80

изготовленных шамотных тиглях. Определению низких концентраций иридия в никелевых штейнах в ряде случаев мешали радионуклиды серебра, кобальта, селена, сурьмы и мышьяка. Растворение истертого штейна в концентрированной соляной кислоте позволило получить чистый нерастворимый остаток, содержащий только металлы платиновой группы (МПГ) и золото. Данный метод исключает возможность заражения пробы примесью ЭПГ, содержащейся в компонентах шихты, и позволил снизить пределы обнаружения иридия до  $1 \cdot 10^{-12}$  г, рутения и осмия —  $1 \cdot 10^{-10}$  г.

В нескольких пробах аномальные содержания иридия (свыше 10 ppb) при суточных экспозициях удалось обнаружить независимо В. А. Боброву и С. В. Киянову инструментальным нейтронно-активационным методом.

### Геохимия благородных металлов

Путем сочетания независимых ядерно-физических методов авторам удалось получить сопоставимые значения уровней содержаний золота и МПГ как для исследуемого прослоя в целом, так и для послойных сечений через 1 см (табл. 2). Геохимические особенности распределения благородных металлов, основанные на данных 80 определений, состоят в следующем.

Таблица 2. Содержания благородных металлов в пробах, отобранных из прослоя фосфатного известняка в основании меловой системы на п-ве Нордвик (мыс Урдюк-Хая) на севере Сибири

№ пробы	Содержание элементов					
	Au	Pd	Pt	Rh	Ru	Ir
1/2	16,8- 31,6 ср.26,3(3)	60,0- 63,0	3,1	11,0- 16,3	3,0- 13,0	0,05- 30,0
2/2	1,4 10,2 ср.6,5(3)	80,0	3,9	9,6- 24,0	4,0- 37,0	0,05- 0,5
3/2	1,4- 8,3 ср.4,1 (3)	61,0- 91,7 ср.73,9(3)	16,0	62,0	33,0	0,05- 0,5
4/2	3,4- 15,8 ср.8,5(4)	113,3- 267,0 ср.190,0	12,0	4,3- 18,5 ср.11,4	5,3	0,2- 75,0 ср.23,6(4)
5/2	1,9- 34,4 ср.11,3(4)	5,3- 26,7 ср.16,0	2,0	0,0- 0,8	5,6- 32,0	0,2- 25,0
6/2	2,5- 4,3 ср.3,0(4)	34,6- 97,0	3,6	0,0- 0,8	3,1	0,1- 0,7
В среднем по прослою	9,6±4,2 (21)	63,8±21,3 (11)	6,4 (6)	13,6 (10)	15,1 (9)	7,8±4,7 (10)

Примечание. Содержание осмия во всех пробах ниже порога чувствительности анализов. В скобках — число проанализированных проб. Аналитики Р. Д. Мельникова, С. В. Киянов (РХ НАА), В. Г. Цимбалист (ААА), Институт геологии СО РАН.

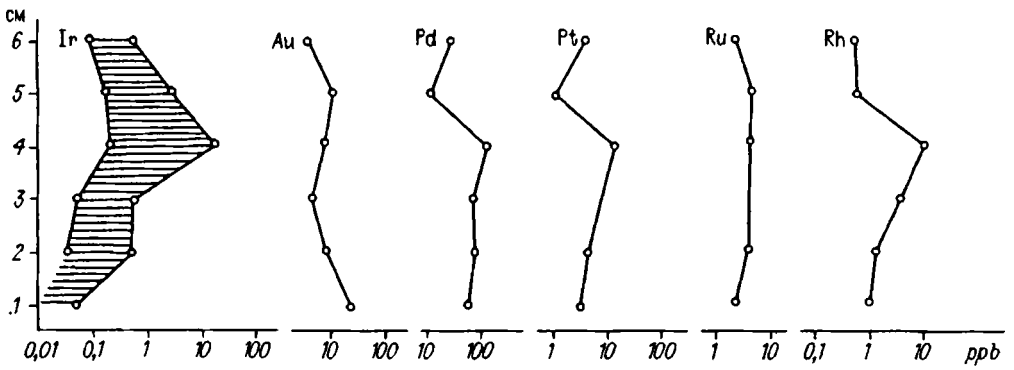


Рис. 3. Вертикальные профили распределения содержаний иридия, палладия, золота, платины, рутения и родия (ppb) в прослое фосфатных известняков.

1. Крайняя изменчивость содержаний золота и МПГ как по мощности прослоя, так и по его простиранию. Содержания золота плавно повышаются к подошве, а МПГ, особенно иридия и родия, резко возрастают в центральных участках прослоя (рис. 3). При этом предельные уровни содержаний достигают следующих величин (ppb): Au — 34,4; Pt — 16,0; Pd — 267,0; Rh — 62,0; Ru — 37,0 и Ir — 75,0 (см. табл. 2).

2. Средние содержания золота в прослое фосфатных известняков, приведенных в табл. 2, более чем на порядок, а МПГ на несколько порядков превышают геохимические оценки кларков соответствующих металлов для осадочных пород [5].

3. Геохимические тренды распределения благородных металлов, нормированных по хондриту C1, как для прослоя в целом, так и для его отдельных сечений, полого наклонны от золота к иридию (рис. 4). На рис. 4, Б приведены заимствованные из работ [5, 11, 16] аналогичным образом нормированные графики распределения благородных металлов в космической пыли и метеоритном веществе. Их сходство может служить косвенным свидетельством возможной космогенной природы аномальных содержаний благородных металлов. Незначительные искажения геохимических трендов «космогенного» типа вносят повышенные концентрации золота, приуроченные к подошве прослоя и, возможно, связанные с терригенным источником.

Подобные тенденции распределения, крайняя неравномерность содержаний побудили авторов к поиску носителей благородных металлов и признаков космической пыли, описанной в работах [11, 15, 16]. Эта задача решалась двумя способами:

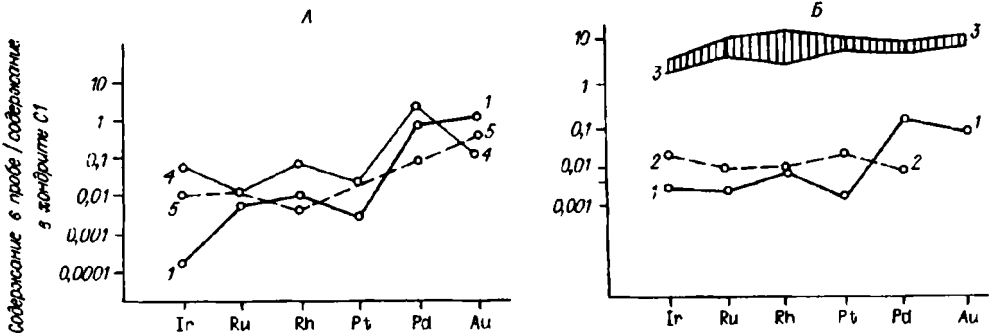


Рис. 4. Геохимические тренды распределения благородных металлов, нормированных по хондриту C1.

А — в сечениях 1, 4, 5; Б — по прослою в целом (1), в космической пыли (2) и железных метеоритах (3), по данным [5, 11, 16].

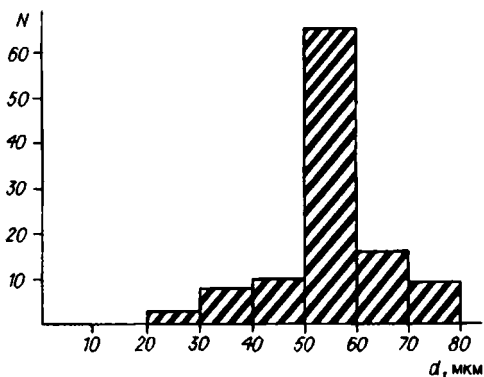


Рис. 5. Гистограмма распределения размеров иридийсодержащих (1200 ppb) пиритовых шариков (мкм).

$N$  — число замеров,  $d$  — диаметр шариков.

— путем выделения тяжелой фракции и ее последующего микрозондового и нейтронно-активационного анализа;

— предварительным облучением проб массой 1 г тепловыми нейтронами потоком  $1 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> и последующим нейтронно-активационным анализом на иридий отдельных легких и тяжелых фракций.

Тяжелые фракции выделялись из измельченных до 1 мм проб массой 50 г, обработанных в течение суток 1N соляной кислотой. В их составе наряду с незначительной примесью терригенных минералов преобладают сульфидные образования двух типов: микроконкреции неправильной формы с микрокристаллической поверхностью желтовато-серого цвета и идеальные шарики с блестящей серебристой поверхностью. Согласно фазовым рентгеноструктурным исследованиям, обе разновидности представлены пиритом с примесью аморфной фазы. Микрозондовый анализ подтвердил пиритовый состав этих образований и обнаружил повышенные содержания кобальта, никеля и хрома.

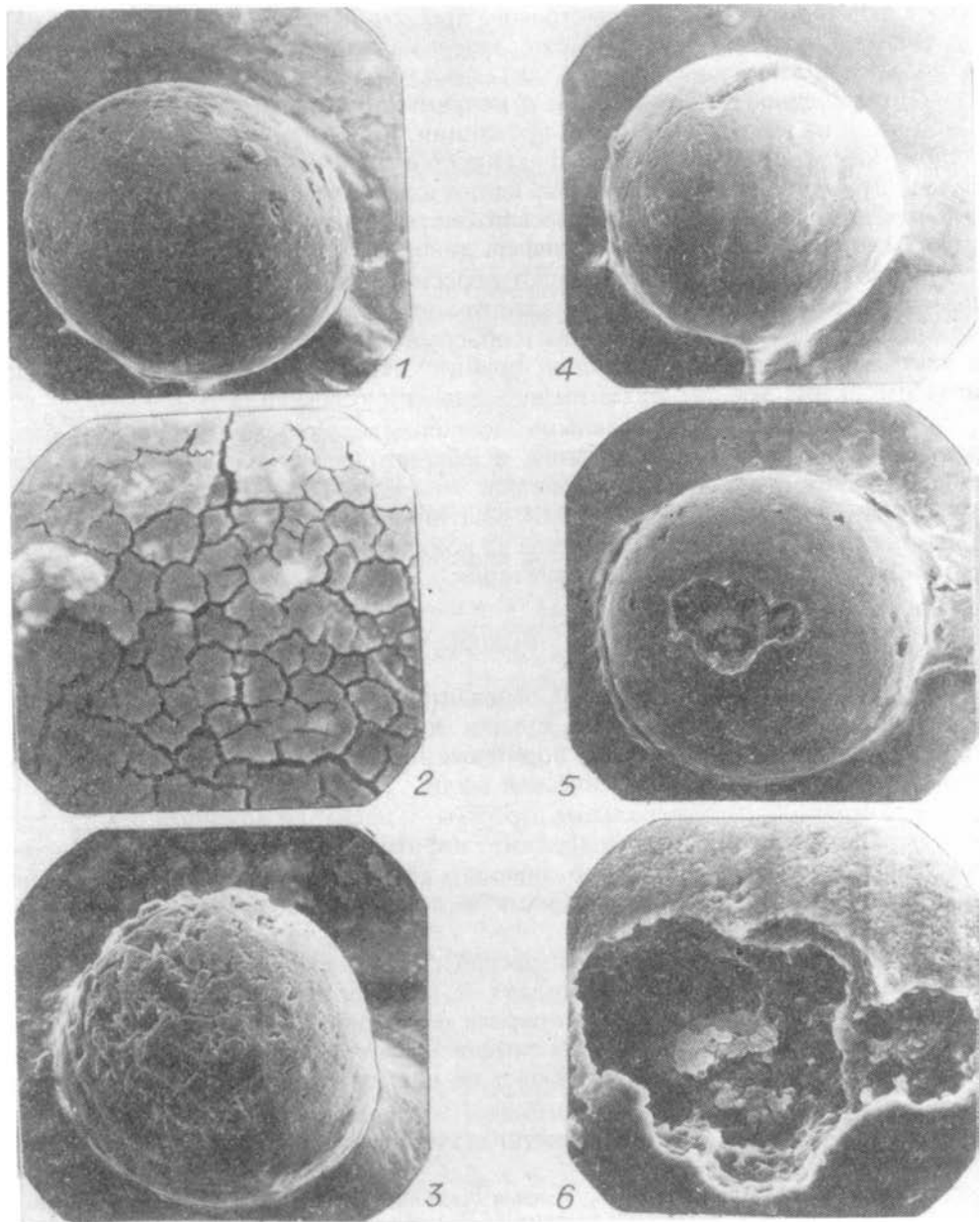
По данным 111 замеров диаметры шариков колеблются от первых до 100 мкм, в среднем 50—70 мкм (рис. 5). На электронном сканирующем микроскопе при увеличении в 36 тыс. раз на поверхности шариков обнаруживаются неоднородности типа «трещин усыхания», микрократеры и единичные конусовидные выступы, подобные хвостикам застывших расплавленных капель. В отличие от микроконкреций, шарики слабомагнитны, многие из них пустотелы (см. фототаблицу). Многими морфологическими признаками шарики напоминают таковые, описанные из пермотриасовых кремнистых образований Японии [15].

Для нейтронно-активационного анализа на иридий в материале тяжелой фракции, выделенной из объединенной пробы весом 150,7 г, удалось отобрать 493 шарика общей массой 0,11 мг и микроконкреции массой 1,04 мг. Эти пробы помещались в кварцевые дроты, запаивались и облучались тепловыми нейтронами потоком  $3 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. После двухнедельного «охлаждения» инструментальным нейтронно-активационным анализом удалось определить следующие содержания иридия (ppb): пиритовые конкреции — 230, пиритовые шарики — 1200.

Таким образом, наиболее концентрированным носителем иридия оказались пиритовые шарики. Хотя микроконкреции содержат на половину порядка меньше иридия, тем не менее они также являются важным концентратом МПГ, поскольку их общая масса преобладает над пиритовыми шариками. К аналогичному выводу о связи аномальных содержаний иридия с сульфидной фракцией приводит последовательный нейтронно-активационный анализ отдельных жидких и твердых мономинеральных фракций, полученных при растворении в соляной кислоте и разделении предварительно облученной пробы. Оказалось, что свыше 95 % иридия присутствует в сульфидной фракции.

### Обсуждение результатов

Аномально высокое содержание (АВС) иридия и других благородных металлов на севере Сибири на границе юры и мела, по-видимому, не связано с импактом кометы или других космических тел. В рассматриваемом регионе отсутствуют признаки проявления вулканизма или базитового магматизма, которые могли бы служить источником аномальных содержаний благородных металлов. Исключается также корреляция последних с биогенными процес-



Структура поверхности «шариков» под электронным сканирующим микроскопом из пограничных юрско-меловых отложений п-ова Нордвик (север Средней Сибири).

Фиг. 1. Обр. 33/18-1,  $\times 5500$ , типичный шарик из выборки 111 экземпляров.

Фиг. 2. Тот же образец,  $\times 36500$ , видна густая сеть трещин на поверхности шарика типа «трещин усыхания».

Фиг. 3. Обр. 33/18-2,  $\times 6000$ , частично корродированный шарик, результат возможного растворения части вещества поверхности.

Фиг. 4. Обр. 33/18-3,  $\times 400$ , крупный шарик с выступами на поверхности типа ножек застывших капель.

Фиг. 5. Обр. 33/18-4,  $\times 5500$ , шарик с каверной.

Фиг. 6. Тот же образец,  $\times 16600$ , видна пустотелая полость внутри каверны.

сами, поскольку содержания органического углерода отличаются довольно монотонным распределением по разрезу вблизи границы юры и мела [1].

Одно из возможных объяснений АВС благородных металлов в терригенных отложениях основано на предположении о резком сокращении скорости осадконакопления на рубеже юры и мела в центральной части палеобассейна на фоне равномерного поступления космической пыли (эффект седиментационной недокомпенсации).

Анализ мощностей пограничных между юрой и мелом аммонитовых зон показал, что темпы осадконакопления в центральной части Хатангского палеобассейна стремительно падали от начала поздневолжского времени к его концу, затем возрастали с начала берриаса. Скорость осадконакопления во

время формирования 6-сантиметрового прослоя фосфатного известняка была, по крайней мере, на порядок ниже, чем в начале поздневолжского времени или в среднем берриасе (см. рис. 2).

В переходное между юрским и меловым периодами время ни в Северо-Сибирской палеогеографической провинции, ни в циркумполярной области в целом, как и нигде в мире, не фиксируется крупных перестроек в морской биоте. Этот рубеж вообще является одним из самых «спокойных» в фанерозое в эволюции основных групп морской биоты: аммонитов, белемнитов, двустворчатых моллюсков, фораминифер, динофлагеллат (см. рис. 2).

Изложенные факты заставляют пересмотреть все шире распространяющееся среди геологов и части палеонтологов убеждение, что повсюду, где установлены массовые вымирания и обнаружены АВС платиновых металлов, в частности космогенного иридия, причину этих вымираний следует объяснять импактом Земли с крупным космическим телом (или телами).

Во многих случаях главными дестабилизирующими факторами были резкие температурные колебания и обычно связанная с ними высокодинамическая гляциоэвстастика океана.

Ограниченные на площади АВС платиноидов логичнее объяснять спецификой седиментационных процессов на конкретных участках с учетом палеогеографических особенностей территории.

### Выводы

1. На границе юры и мела в основании берриаса в прослое фосфатных известняков установлены АВС иридия и других благородных металлов, тренды распределения которых, нормированные по хондриту *С1*, аналогичны железным метеоритам и космической пыли.

2. Установлены минеральные агрегаты — носители иридия, представленные микроконкрециями и шариками пиритового состава, соответственно содержащими 230 и 1200 ррб иридия, которые связываются с сульфидизированными в процессе диагенеза железными частичками космической пыли.

3. На основании общегеологической ситуации, геохимических трендов распределения благородных металлов и состава иридийсодержащих сульфидных минеральных агрегатов природа геохимической аномалии благородных металлов объясняется резким замедлением темпов осадконакопления на границе юры и мела в условиях фонового поступления космической пыли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В. А., Юдовный Е. Г. Условия осадконакопления и существования фауны в раннемеловом море Хатангской впадины // Палеобиогеография севера Евразии в мезозое. Новосибирск: Наука, 1974. С. 127—174.
2. Захаров В. А., Нальняева Т. И., Шульгина Н. И. Новые данные по биостратиграфии верхнеюрских и нижнемеловых отложений на п-ве Пакса. Анабарский залив (север Средней Сибири) // Палеогеография и биостратиграфия юры и мела Сибири. М.: Наука, 1983. С. 56—99.
3. Захаров В. А., Лапухов А. С. Иридиевые аномалии: всегда ли они свидетельствуют об импактных перестройках биосферы Земли? // Экосистемные перестройки и эволюция. Тез. докл. XXXVII сессии ВПО. Л.: ВСЕГЕИ, 1991. С. 33—34.
4. Изох Э. П. Импактный кратер Жаманшин и проблема тектитов // Геология и геофизика. 1991. № 4. С. 3—14.
5. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
6. Фелицин С. Б., Сочава А. В., Ваганов П. А., Мейер В. А. Иридиевая аномалия на рубеже вымирания эдиакарской фауны // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 5. С. 1200—1203.
7. Юхтин Ю. М., Удалова Т. А., Цимбалист В. Г. Беспламенное атомно-абсорбционное определение благородных металлов с предварительной экстракцией смесью *ди-2*-этилгексилдитиофосфорной кислоты и *н*-окталанилина // Журн. аналит. химии. 1985. Т. 11, № 5. С. 850.
8. Alvares L. W., Alvares W., Asaro F., Michel H. W. Extraterrestrial cause for the Cretaceous — Tertiary extinction. Experimental results and theoretical interpretation // Science. 1980. V. 208., № 448. P. 1095-1108.
9. Alvares W., Alvares L. W., Asaro F., Michel H. W. The end of the Cretaceous: sharp boundary or gradual transition? // Science. 1984. V. 223, № 4641. P. 1183—1186.
10. Beyond the K-T boundary // Science. 1987. V. 236. № 4802. P. 667.