

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗЕМЛИ: ВЕРОЯТНАЯ
ИСТОРИКО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ****Статья 4. Мышьяк****Л. Т. Шевырёв***Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 26 декабря 2015 г.

Аннотация: повышенные концентрации летучих элементов (HG, SB, AS, TL, BI) приурочены к структурным формам, определившим делимость земной коры. Распределение соответствующих рудных объектов разных масштабов и возраста позволяет подтвердить (в иных случаях, определить) положение крупнейших рудоконтролирующих структур, расшифровать хронологическую последовательность их становления, оценить глубинность. Предпринятую серию статей продолжает настоящее изложение результатов историко-минерагенического анализа применительно к эндогенным объектам с повышенными содержаниями AS. В отличие от HG с ее мезокайнозойскими аккумуляциями, проявления AS гетерохронны, от позднеархейских до четвертичных. Вновь созданная база данных для эталонных минералов (арсенопирит и самородный AS) на континентах Земли позволила раскрыть крайнюю неравномерность в их распределении, очертить линейные и очаговые ареалы.

Ключевые слова: историко-минерагенический анализ, арсенопирит, самородный мышьяк, делимость земной коры, разновозрастные месторождения мышьяка.

**REGULARITIES IN THE VOLATILE ELEMENTS DISTRIBUTION IN THE SURFICIAL
ENVELOPE OF EARTH: PROBABLE HISTORICAL-MINERAGENICAL INTERPRETATION
PAPER 4. ARSENIC**

ABSTRACT ~~ELEVATED CONCENTRATIONS OF THE VOLATILE ELEMENTS TO BE LOCATED WITHIN THE~~ ~~STRUCTURAL FORMS HAVE BEEN DETERMINED THE TECTONIC BLOCKING OF THE EARTH CRUST. AREAL DISTRIBUTION OF THE ORE OCCURRENCES OF THE DISCREPANT SCALES AND AGES LET CORROBORATE (SOMETIMES DISCLOSE)~~ ~~OF THE PLANETARY RANKORE-CONTROLLING STRUCTURES AS WELL AS DECIPHER ITS FORMING CHRONOLOGICAL SUCCESSIVENESS, AND ESTIMATE DEEPNESS. THE PRESENT DESCRIPTION OF THE HISTORICAL-MINERAGENICAL ANALYSIS RESULTS GOES ON THE SERIES OF PAPERS BEING UNDERTAKEN FOR THE ARSENIC-IRON OXYDE OBJECTS.~~ ~~DIFFERENCE FROM THE HG MESOZOIC – CENOZOIC ACCUMULATION THE AS OCCURRENCES ARE HETEROCHRONOUS MORE, FROM LATE ARCHEAN THROUGH QUATERNARY. NEWLY COMPILED DATABASE FOR MODEL AS MINERALS (ARSENOPYRITE AND NATIVE ARSENIC) LET DISCLOSE ANOMALOUS UNEVENNESS IN THE OCCURRENCES DISTRIBUTION ON EARTH'S CONTINENTS.~~

KEY WORDS ~~HISTORICAL-MINERAGENICAL ANALYSES, ARSENOPYRITE, NATIVE ARSENIC, TECTONIC BLOCKING OF THE EARTH CRUST, HETEROCHRONOUS ARSENIC DEPOSITS.~~

Историческую минерагению традиционно интересует вопрос, когда и на каких площадях поверхности Земли проявилась металлоносная флюидная активизация, сопровождаемая выбросом летучих элементов (Hg, Sb, As, Tl, Bi). Это явление, описанное как «рассеянный рудогенез» [1–7] интересно для оценок глубинности и механизма формирования скоплений благородных и цветных металлов. Выявление, очертывание разновозрастных историко-минерагенических

провинций для каждого летучего элемента способно внести вклад в представления об эволюции планетарных полей тектонических напряжений и, следовательно, в прогнозирование аккумуляций полезных ископаемых. В золотинах из латеритов префектуры Дингерай Гвинеи Е. Н. Божко выявил до 0,01 % As [1]. Зерна Au ранне-среднекембрийских кор выветривания Каталамбинского месторождения в Республике Коми, по О. Ю. Кузнецовой, содержат до 0,25 %

As. Еще более мышьяковисты золотины осадочного чехла **Воронежской** антеклизы. В 77 % их (48 зерен из 60) обнаружено 0,025 – 1,764 % As [1, 2, 7].

1. Мышьяк на земной поверхности, в недрах и космосе

Будучи компонентом более 200 минералов, As в породах земной коры образует фоновые концентрации 0,5–2,5 мг/кг (то же, г/т, $10^{-4}\%$, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, ppm). Называют и большие цифры – 5–6 мг/кг. В зависимости от окислительно-редокс условий наблюдают четыре степени окисления: As^{3-} , As^0 , As^{3+} , As^{5+} . Две последние, особо токсичные, наиболее опасны для окружающей среды. Все соединения As растворимы, но их миграционные способности ограничены связыванием минералами глини, гидроксидами Al, Mn, Fe, сульфидами Fe, органическим веществом.

Мышьяка в каменных метеоритах может быть до 30 г/т. Его значения мало различаются у хондритов классов H, L, LL и согласуются с содержаниями металлов. В последовательности H – L – LL доля последних уменьшается, что ведёт к падению концентраций As. Энстантитовые хондриты, в которых металлов больше, богаче и As. Этим объясняют необычно высокую мышьяковистость хондрита **E5 Санкт Маркс** (St Marks). По ахондритам (каменные метеориты без округлых включений – хондр; по составу и структуре напоминают земные базальты) данных мало. В говардите **Капоэта** (Caroeta) отмечено только 0,092 г/т As, эвкрите **Джувинас** (Juvinas) – 0,18 г/т. Налицо сильная деплетированность по этому элементу сравнительно с хондритами, в которых As выступает и как сидерофильный, и как халькофильный элемент в соединениях металлов, сульфидах, силикатных фазах двух типов (содержания 11; 8,04; 13; 11,02 г/т соответственно). Однако большинство ученых считает, что As присутствует там лишь в связи с металлами. В железных метеоритах (67 образцов) содержалось 0,43–30,7 г/т As при среднем 8,8 г/т As. Отмечена корреляция значений с содержанием Ni [8].

Основные используемые народным хозяйством соединения As – триоксид As_2O_3 (белый, или коммерческий, мышьяк), а также арсенат кальция $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$, близкий минералу фонукситу $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Применяются в инсектицидах, пестицидах, для дезинфекции крупного рогатого скота и овец. 90 % триоксида As (1999 г.) идет на составы для консервации древесины, прочее – в производство красителей, борьбу с сорняками, стекловарение, противопожарную обработку материалов, выделку шкур. Собственно As применяют для упрочнения изделий из меди и, особенно, свинца в аккумуляторах. Его добавляют в полупроводники: оптико-электронный сплав GaAs – третий по значению после Si и Ge. 0,1–1 % As в расплаве свинца при получении ружейной дроби увеличивает поверхностное натяжение, придавая дроби сферическую форму.

Сложны отношения элемента с биосом. Некоторые бактерии используют As в качестве респираторных

метаболитов. В рыбах он присутствует почти только в качестве неядовитого арсенобетайна $[(\text{CH}_3)_3\text{As} + \text{CH}_2\text{COO}]$. Малые количества As – полезные добавки в питание крыс, хомяков, коз, цыплят.

Спортсмены используют их для наращивания мышечной массы. В этих целях препаратами As лечили крайне истощенных узников Освенцима, а ныне заложников террористов. As – компонент лекарств против рака (и не только). «As в окислительно-восстановительных реакциях содействует расщеплению сахаров (что улучшает умственную функцию) и прочих углеводов, гликолизу, брожению. При исследованиях обмена веществ As используют в качестве ингибитора (замедлителя) ферментов. Его соединения помогают ликвидировать рано стареющие и быстро растущие опухоли и клетки в онкологии и стоматологии» [9].

Однако чуть большие концентрации оказываются тяжелой проблемой для людского здоровья. Недаром арсенолит As_2O_3 был излюбленным ядом Древнего Рима. ПДК элемента в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности по состоянию на 01.01.1991 г. Госкомприрода СССР (постановление № 02–2333 от 11.12.1990 г.) определила в 2 мг/кг (транслокационный As – 2 мг/кг, водный – 15 мг/кг, общесанитарный – 10 мг/кг). При том, что, отмечают многие, среднее фоновое содержание As в природе составляет 6 мг/кг! Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) по дополнению № 1 перечня ПДК и ОДК № 6229–91 для почв: песчаных – 2 мг/кг; кислых с pH KCl < 5,5 – 5 мг/кг; близких к нейтральным с pH KCl > 5,5 – 10 мг/кг [10]. В воздухе не должно быть более 0,003 мг/м³ As [11].

«Развитые» страны избавляются от собственного производства As. США в 1999 г. удовлетворили потребности только за счет импорта из Китая – 1 тыс. т As и 29 тыс. т его соединений.

As – один из немногих элементов, почти все мировое производство которого (30453 т в 1995, около 40 тыс. т в 2008 г.) сразу же оказывается в окружающей среде со вносимыми при сельскохозяйственном производстве препаратами. Важный источник антропогенного As – сжигание нефти и угля. Среднее содержание As в углях оценено 10 г/т, но об углях с 3,5 % As (35 кг/т!) сообщают из Китая [13].

В таблице 1 внимание уделено почвам, основному объекту геохимических съемок при поисках эндогенных месторождений, особенно золота. Площадные исследования почв Северной Европы на As привели к открытию не известных кварц-арсенипиритовых объектов у г. Тампере в Суоми [13]. Выявлен также большой локальный вклад в распределение As в почвенном слое и растительности современной эндогенной дегазации. Контрастная As аномалия в Центральной Швеции (>150 тыс. км², рис. 1), была до геохимической съемки известна лишь большим минеральным потенциалом и отсутствием источников антропогенного загрязнения. В центре ее содержания As превысили фоновые в несколько раз. Глубже, в образцах

Таблица 1

Средние содержания As в природных объектах (с использованием [12, 13])

Природные объекты	Содержания As (мг/кг, г/т, ppm). Для вод – мг/л (г/м ³). Число проб в скобках	Природные объекты	Содержания As (мг/кг, г/т, ppm)
1. Земная кора			
Вся земная кора, оценка	1,7	Верхняя часть, оценка	2,0
2. Горные породы (кроме углей)			
Песчаники	0,5	Базиты	0,7–1,0
Ультрабазиты	0,7	Известняки	1,5
Граниты	3	Глинистые сланцы	13
Фосфориты	21		
3. Угли			
В среднем, Мир	10	Сев. Аппалачи	16 (1607)
Центр. Аппалачи	7,8 (1742)	Южные Аппалачи	29 (974 пробы)
Угли США	24 (>7000 проб)	Восточные регионы США	10 (289 пробы)
4. Почвы (фракция < 2 мм)			
В среднем, Мир	5	Почвы США и сопред. стран, глуб. 20 см (фракция < 2 мм)	5,2 (геом. среднее, 1257 проб)
Брянская обл., Клинцы, дерн.-подзол.: 0–0,2 м >0,2 м	1,0–13,2 2,4–5,0	Липецкая обл., Липецк, луговые: 0–0,2 м >0,2 м	1,5–8,3 3,1–3,2
Австрия, Walchen. Фракция <0,18 мм, весь объем	30 (272)	Литва, верхи почвы, < 2 мм, весь объем.	2,8
5. Аллювий			
Сев. Европа. < 0,15 мм, XRF	2	Южн. Европа, то же	7
Аляска < 0,12 мм, XRF	12	Германия, Гарц, < 0,063 мм	22
Кольский п-ов, < 0,2 мм, HNO ₃	11,4		
6. Озёрные отложения			
Канада, Лабрадор, <0,177 мм	0,9	Канада, Юкон. <0,177 мм	11
7. Морские отложения			
Карское море, 70%<0,063 мм	53 (9)	Шпицберген, шельф. То же	69 (6)
Эстуарий Оби. То же	4 (36)	Земля Ф.-Иосифа. То же	5 (61)
Печёрское море. То же	113 (6)	Баренцово м., HNO ₃ . 0–1 см	8,5 (73)
8. Флора			
Средняя по Миру	0,10	Баренц. побережье. Хвойные. HNO ₃	0,03
Кольский п-ов. Мох. Конц. HNO ₃ .	0,17 (593)	Там же. Лиственные. HNO ₃	0,03
Канада, лишайник Cladonia stellaris	0,44 (15)	Водоросли красные	12–23
9. Воды пресные			
Средняя по Миру (оценка)	0,00400	Румыния, нефилтр.	0,00140 (113)
Сев. Европа, то же	0,00027	Германия, Гарц, нефилтр.	0,00060
Ю. Европа то же	0,00068	Эфиопия, нефилтр.	0,0010
10. Воды морские			
Средняя по Миру (оценка)	0,00870	Южнокитайское море	0,00064
Индийский океан, восток	0,00087	Северная Атлантика, поверхность	0,00150
Антарктический океан	0,00110	Северная Атлантика, глубинная	0,00157 0,00180

почв значения As еще выше. Подземные воды содержат до 0,8 г/л As. Контуры аномалии срезают границу между Балтийским щитом и каледонидами Норвегии. Она совмещается с экспозицией повышенного современного теплового потока.

Распределение гетерохронных аккумуляций As по континентам Земли в большой степени может быть выявлено при вынесении на карты проявлений наиболее показательных его минералов. Таковыми являются арсенопирит (рис. 2) и самородный As (рис. 3).

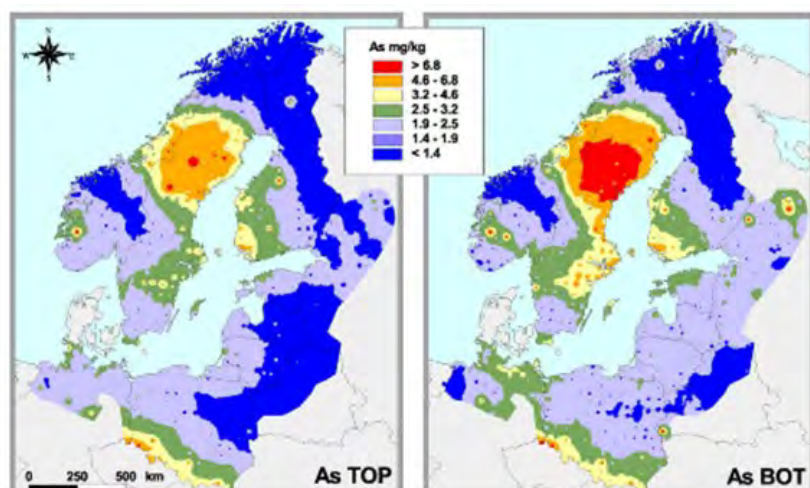


Рис. 1. Высококонтрастная мышьяковая аномалия в Центральной Швеции на границе Балтийского щита и каледонид Норвегии (тёплые тона). Совпадает с площадью экспозиции современного теплового потока. С ней связаны содержания As до 800 мг/л в грунтовых водах. Слева – распространение элемента в верхах почвы (0,0–25 см, As TOP), справа – в ее низах (50–75 см, As BOT). Из [13, рис. 12]

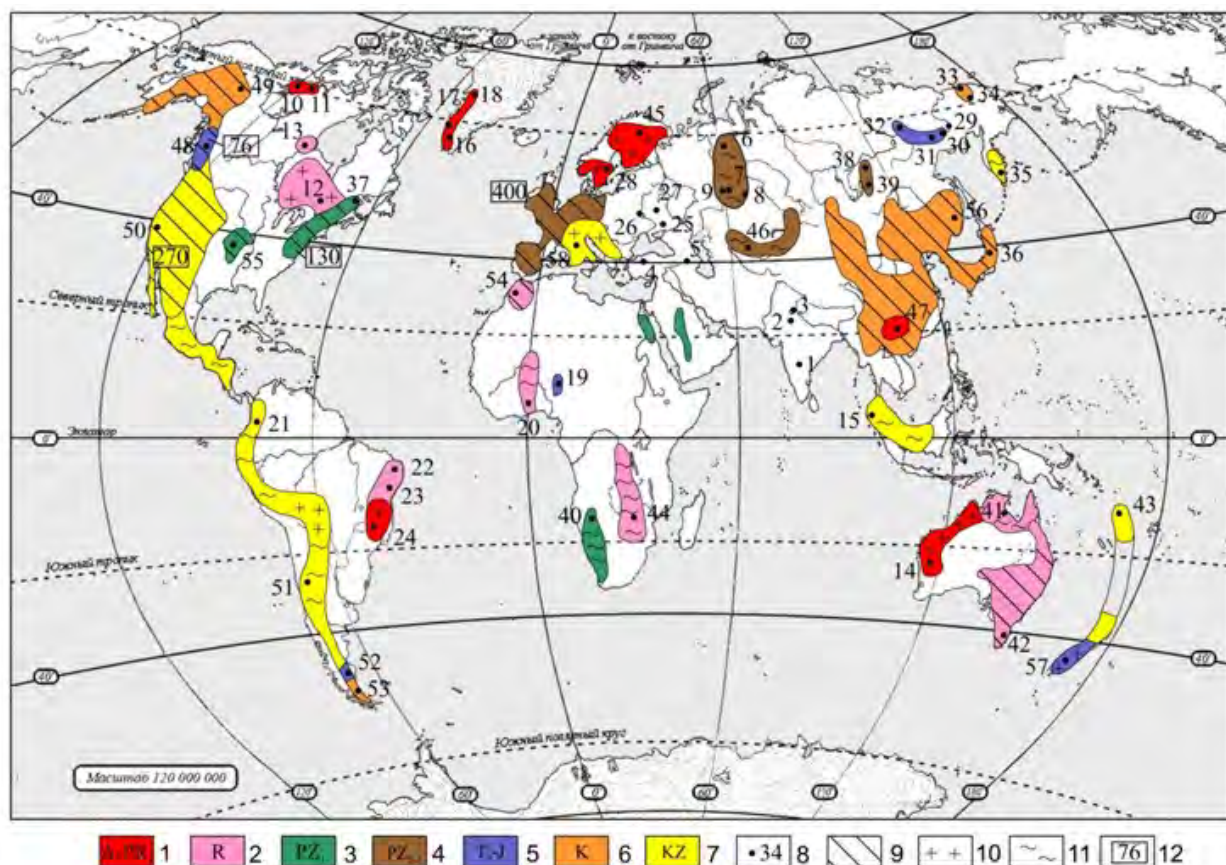


Рис. 2. Историко-минерагенические провинции (ИМП) с проявлениями арсенопирита: 1–7 – ИМП, в т. ч.: 1 – раннедокембрийские, 2 – позднедокембрийские, 3 – раннепалеозойские, 4 – средне-позднепалеозойские, 5 – киммерийские (Т–J), 6 – меловые, 7 – кайнозойские; 8 – эталонные рудные объекты с арсенопиритом, в т. ч.: 1 – **Маллаппаконда** (Mallappakonda, Au, 3,2–2,6 млрд лет), Индия; 2 – **Рампура Агуча** (Rampura Agucha, Zn–Pb, PR₁), Индия; 3 – **Тошам** (Tosham, In–Cu–Sn, R), Индия; 4 – **Гёйнюк** (Göynük, Sb, KZ), Турция; 5 – **Зодское** (Au–Te, с Ag, Bi, олигоцен-миоцен), Армения; 6 – **Додо** (горный хрусталь, PZ₃?), ХМАО; 7 – **Кочкарское** (Au–As, 0,3 млрд лет), Челябинск; 8 – **Сарбайское** (Fe, C), Казахстан; 9 – **Узельга** (Pb–Zn, D₂–C), Челябинск; 10 – **Силвер Биз** (Silver Bear, Cu–Ag–Bi, PR₁?), Канада; 11 – **Лупин** (Lupin, Au, AR₃), Канада; 12 – **Кобальт-Гоуганда** (Cobalt–Gowganda, Ag, PR₁), Канада; 13 – **Фокс Лэйк** (Fox Lake, Cu–Zn, PR), Канада; 14 – **Голден Гров** (Golden Grove, Cu–Zn–Pb–Au–Ag, AR), Австралия; 15 – **Сиротан** (Cirotan, Au–Ag–Sn–W, N), Индонезия; 16 – **Ивигтут** (Ivigut, криолит, 1170–1160 млн лет); 17 – **Сермилигаарсук** (Sermiligaarsuk Fjord, Au, AR), Гренландия; 18 – **Сорте Энгель** (Sorte Engel, Pb–Zn–Ag, PR₁), Гренландия; 19 – **Риривай** (Ririvai, Nb–Ta–Sn–W, J), Нигерия; 20 – **Ашанти** (Ashanti, Au, 2,1–1,6 млрд лет), Гана; 21 – **Мармато** (Marmato, Au, N), Колумбия; 22 – **Бонфим** (Bonfim, изумруды, 926 млн лет), Бразилия; 23 – **Морру ду Шапеу** (Morro do Chapéu, Au, R?), Бразилия; 24 – **Макине** (Maquiné, Au, PR₁), Бразилия; 25 – **Никитовское** (Донбасс, Hg, ~200 млн лет); 26 – **Володарск-Волынский** (у Житомира, пегматиты, R), Украина; 27 – **Тим-Ястребовская** грабен-синклиналь (Au, MPG, Mn, PR_{1os}); 28 – **Болиден** (Boliden, Au, As, U, 2,0–1,82 млрд лет), Швеция; 29 – **Кубака** (Магадан. обл., Au–Ag, 335±5 млн лет до 337±8 млн лет), Магадан.

данская обл.; 30 – **Наталка** (Au, J₃), Якутия; 31 – **Нежданинское** (Au, 131-94 млн лет); 32 – **Мангазейское** (Ag, J?), Якутия; 33 – **Майское** (Au, K₂), Чукотка; 34 – **Иультин** (Sn–W, 130-110 млн лет), Чукотка; 35 – **Мутновское** (Au–As, 1,3-0,7 ± 0,1 млн лет), Камчатка; 36 – **Мацуиwa** (Matsuiwa, As–Cu, K₁–K₂), Япония; 37 – **Брансуик №12** (Brunswick No. 12, Pb–Zn–Ag, O₂), Канада; 38 – **Сухой Лог** (Au, 350-290 млн лет); 39 – **Ауникское** (Be, F, пермское?); 40 – **Цумб** (Tsumeb, Cu–Pb–Zn с Ge и Ga, PZ₁?), Намибия; 41 – **Мак-Артур** (McArthur, Pb–Zn–Ag, 1,6-1,4 млрд лет), Австралия; 42 – **Биконсфилд** (Beaconsfield, Au–Ag–Cu, D₃–C₃, Австралия; 43 – **Ватукоула** (Vatukoula, Au, N₂³), Фиджи; 44 – **Вубачикве** (Wubachikwe, Au, PR₁), Зимбабве; 45 – **Суурикуусикко** (Suurikuusikko, Au, PR₁), Финляндия; 46 – **Мурунтау** (Au, 287,5±1,7 млн лет), Узбекистан; 47 – **Яоганьсянь** (Yaogangxian Sn–W, 153±7 млн лет и 163,2±4,2 млн лет), Китай; 48 – **Эски Крик** (Eskay Creek, Au–Ag, J₂), Канада; 49 – **Форт Нокс** (Fort Knox, Au, 92 млн лет) США; 50 – **МакЛафлин** (McLaughlin, Au–Sb–Hg, 2,5 млн лет), США; 51 – **Эль-Сальвадор** (El Salvador, Cu–Mo, третичное), Чили; 52 – **Манантиаль Эспехо** (Manantial Espejo, Au–Ag, J₂), Аргентина; 53 – **Беатрис** (Beatriz, Pb–Zn, K), Аргентина; 54 – **Имитер** (Imiter, Ag, PR₃), Марокко; 55 – **Вибурнум Тренд** (Viburnum Trend, Pb–Zn, R–K), США; 56 – **Тигриное** (Sn–W, 86±4 млн лет), Приморье; 57 – **Маунт Джуда** (Mt Judah, W, J?), Новая Зеландия; 58 – **Поллоне** (Pollone, Pb–Zn–Ag, 27–8 млн лет), Италия; 9–11 – насыщенность ИМП рудными объектами с арсенопиритом, в т. ч.: 9 – высокая (многие сотни проявлений), 10 – средняя (от десятков до первых сотен); 11 – низкая (до 10–20); 12 – оценочное количество проявлений в контуре.

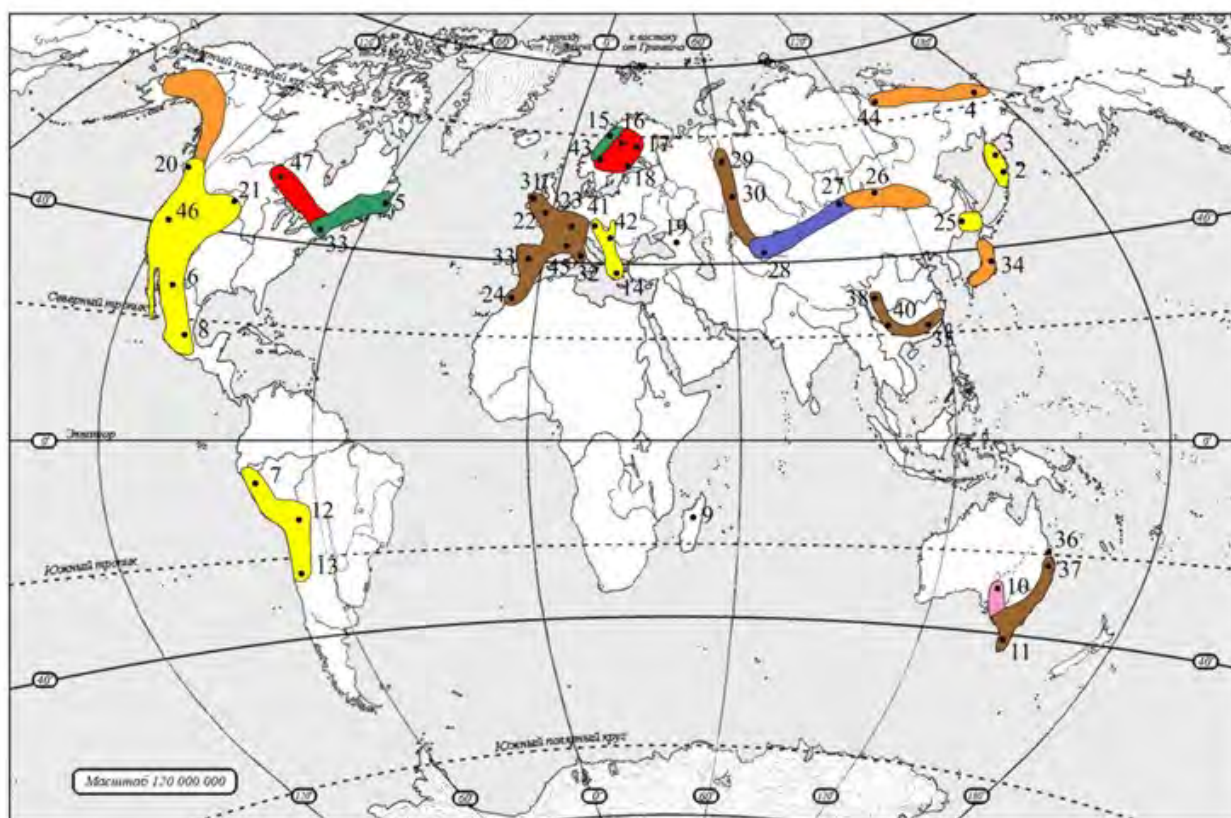


Рис. 3. Историко-минерогенические провинции (ИМП) с проявлениями самородного мышьяка на континентах Земли. Условные обозначения см. рис. 1. Эталонные рудные объекты с самородным As, в т. ч.: 1 – **Донлин Крик** (Donlin Creek, Au–As, 77-58 млн лет), Аляска; 2 – **Мутновское** (Au–As, 1,3-0,7 ± 0,1 млн лет), Камчатка; 3 – **Озерновское** (Au–Ag, N), Камчатка; 4 – **Майское** (Au, K₂), Чукотка; 5 – **Литтл Диэ** (Little Deer, Cu–Zn, C₁), Канада; 6 – **Батопилас** (Batopilas, Ag, KZ), Мексика; 7 – **Пасто Буэно** (Pasto Bueno, W, 8,9±0,12 и 7,8±0,10 млн лет), Перу; 8 – **Сан Лоренсо** (San Lorenzo, Ag, KZ?), Мексика; 9 – **Антандрокомби** (Antandrokomby, пегматиты, PZ₁), Мадагаскар; 10 – **Олимпийский Дам** (Olympic Dam, Cu–Au–Ag, U–REE, 1,6–1,0 млрд лет), Австралия; 11 – **Маунт Бишоф** (Mount Bischoff, Sn, D₃–C₁), Тасмания; 12 – **Льяльягуа** (Llallagua, Sn, N₁), Боливия; 13 – **Кобриса** (Cobrisa, Pb–Ag–As–Cu–Zn, K?), Чили; 14 – **Плака** (Plaka, Mo–W–Pb–Zn–Cu–As–Sb–Bi–Ag, 7–10 млн лет), Греция; 15 – **Блейквассли** (Bleikvassli, Zn–Pb, 1000–464±22 млн лет), Норвегия; 16 – **Болиден** (Boliden, Au, As, U, 2,0-1,82 млрд лет), Швеция; 17 – **Пихасалми** (Pyhäsalmi, Cu–Zn, 1909±27 млн лет), Финляндия; 18 – **Метсамонти** (Metsämonttu, Zn–Pb–Cu–Au–Ag, 1894–1891 млн лет), Финляндия; 19 – **Белореченское** (U–Ni, T), Адыгея; 20 – **Маунт Вашингтон** (Mt Washington, Au–Ag–Cu–Mo, олигоцен–ныне), США; 21 – **Хомстейк** (Homestake, Au, неопротерозой), США; 22 – **Гивор** (Geevor, Sn–Cu, 290 млн лет), Англия; 23 – **Ленгенбах** (Lengenbach, Pb–Zn–As–Ti–Ba, триас), Швейцария; 24 – **Бу-Аззер** (Bou Azzer Aghbar, Co, 600-550 млн лет), Марокко; 25 – **Дальнегорский** (Pb–Zn, <54 млн лет), Приморье; 26 – **Дарасунское** (Au–Bi–Sb–As, K₂), Забайкалье; 27 – **Арыскан** (HREE, P₂–T₁), Тува; 28 – **Коч Булак** (Au–Te–Bi, C₃–P₁), Узбекистан; 29 – **Воронцовское** (Au–Hg, P₂–T₁), Урал; 30 – **Сарбайское** (Fe, карбон); 31 – **Тинаг** (Tynagh, Cu–Pb–Zn, C₁), Ирландия; 32 – **Сан Джованни** (San Giovanni, Pb–Zn–Ba, C₃–P₂), Сардиния; 33 – **Иенделаэнсина** (Hiendelaencina, Ag, T₁), Испания; 34 – **Камиока Тошибора** (Kamioka Tochibora, Zn–Pb с Ag, Cu, W, Mo, K₂–палеоцен, Япония); 35 – **Дацишань** (Dajishan, W, 167 млн лет), Китай; 36 – **Биггенден** (Biggenden, Fe–Cu–Pb–Zn–Ag, 220 млн лет), Австралия; 37 – **Хортонс** (Hortons, Au–Bi, 365 млн лет), Австралия; 38 – **Донгбейжай** (Dongbeizhai, Au, 182 млн лет), Китай; 39 – **Стерлинг** (Sterling Mine, Zn, R), США; 40 – **Ята** (Yata, Au–As, MZ), Китай; 41 – **Тшебско** (Třebско, U–Pb–Zn, от 278–275 млн лет до 263,2 ± 8,9 млн лет), Чехия; 42 – **Нагйбёршони** (Nagybörzsöny, Au–Bi, N), Венгрия; 43 – **Лонгбан** (Långban, Fe–Mn, PR₁), Швеция; 44 – **Кючус** (Au–Sb–Hg, K?), Якутия; 45 – **Фонсант** (Fontant, CaF₂, C₂–3?), Франция; 46 – **Карлин** (Carlin, Au, 42-36 млн лет), США; 47 – **Танко** (Tanco, Ta–Cs пегматиты, 2,67 млрд лет).

Первый наиболее распространен, отмечен на Земле примерно в двух тыс. рудных объектов [14]. Этот минерал образуется при значительных температурах. В Au–арсенопиритовых рудах карельского **Рыбозера** он появился первым из сульфидов при 400–350° С. Температура гомогенизации газовой-жидких включений в кварце с гнездами арсенопирита **Костомукшских** проявлений составляет 540–375°С [15]. Для миоценовых Pb–Zn–Ag жил **Поллоне** (Pollone), Апуанские Альпы, Италия, пик температур по арсенопиритовому и хлоритовому геотермометрам определен между 350° и 320°С [16]. Такие T–параметры плюс химическая стойкость обеспечивают арсенопириту длительную сохранность в рудных телах. Следовательно, распространение датированных арсенопиритовых объектов поможет оконтурить площади с наиболее мощным тепловым потоком в соответствующие временные интервалы.

1. Архей. В архейских залежах из минералов мышьяка зафиксирован почти только арсенопирит. Он является важнейшим компонентом золотых руд **Маллапаконда** (Mallappakonda, 3,2–2,6 млрд лет) в южноиндийском штате Карнатака. Там в стратиформных залежах среди джеспилитов сульфиды (до 25 об. %) состоят поровну из арсенопирита и пирротина с примесью лёллингита FeAs₂. Золоторудное жильное **Лупин** (Lupin), запад территории Нунавут (**Nunavut**), Канада, связано с неоархейскими железистыми кварцитами, перемежающимися с амфиболовыми сланцами. Золоторудные фации помещают в основание горизонтов кварцитов с полосчатыми агрегатами из слоев кремнезёма и актинолита, насыщенными арсенопиритом, пирротином и т. д. В архейских гидротермальных массивных Cu–Zn–Pb–Au–Ag сульфидах **Голден Гров** (Golden Grove, VHMS), Западная Австралия, арсенопирит как и прочие рудные, накапливался ниже уровня морского дна в результате активности мощной гидротермальной системы. Кварцевые жилы с арсенопиритом **Сермилигаарсук** (Sermiligaarsuk) на юге Гренландии датированы 2,5–3,0 млрд лет. В них до 58 г/т Au.

Арсенопирит представлен в пегматитах: **Бикита** (Bikita), Зимбабве, 2,65 млрд лет. Пегматиты **Танко** (Tanco, 2,67 млрд лет), канадская Манитоба, содержат также самородный As и стибарсен SbAs.

2. Ранний протерозой. В этот временной интервал минеральных видов с мышьяком формировалось заметно больше чем в архее. В рудном районе **Шеллефте** (Skellefte), Центральная Швеция, где отрабатывается Pb–Zn гигант **Болиден** (Boliden), основное арсенопиритовое тело мощностью 40 м и протяженностью 600 м прослежено по падению на 200 м. В **Сорте Энгель** (Sorte Engel, Pb–Zn–Ag), Гренландия, кварцевые жилы обогащены арсенопиритом, теннантитом Cu₁₂As₄S₁₃. Массивные Cu–Zn руды **Фокс Лэйк** (Fox Lake) канадской пров. Манитоба содержат первый. В колчеданно-полиметаллическом (SEDEX) **Брокен-Хилл** (Broken Hill), Канада, помимо арсенопирита открыт арсентсумбит Pb₂Cu(AsO₄)(SO₄)(OH). Арсенопирит обычен и в SEDEX рудах **Рампура Агуча** (Rampura Agucha), Индия. Он присутствует в канадских **Силвер Биэ** (Silver

Bear, Cu–Ag–Bi) и **Кобальт-Гоуганда** (Cobalt–Gowganda, Ag). А вот еще золоторудные объекты PR₁ обогащенные As: мезотермальное **Суурикуусикко** (Suurikuusikko), Финляндия; **Вубачикве** (Wubachikwe), Зимбабве (80 % золота сульфидно-кварцевых жил сосредоточено в арсенопирите). Руды **Ашанти** (Ashanti, Au, Гана) помимо арсенопирита содержат лёллингит FeAs₂, герсдорфит NiAsS. В **Тим-Ястребовской** структуре ВКМ высокоуглеродистые (C_{орг.} >10 %) толщи содержат арсенопирит [18].

3. Рифей. Минералы As в рифейских рудных аккумуляциях распространены намного шире, чем в нижнем докембрии. Арсенопирит присутствует в залежах различных генетических типов. Среди них – эвдиалитовые и эгирин-арфведсонитовые, с криолитом, жилы **Ивиггута** (Ivigut, 1170–1160 млн лет), Гренландия. Есть он в неопротерозойских Sn–Cu штокверках и жилах **Тошам** (Tosham), Индия. Арсенопирит содержит гранитные пегматиты **Володарск-Вольнского** района в Житомирской области, вулканогенных Cu–Zn–Au–Ag рудных объектах **Наджран-Малаа** (Najran–Malahah, Саудовская Аравия). Мощная вспышка минералообразования с появлением многих новых соединений As относится к рубежу рифея и раннего палеозоя. Выдающаяся минеральная ассоциация возникла тогда в эпитеермальных серебряных залежах **Имитер** (Imiter), Марокко. Помимо арсенопирита, в нее входят еще 14 минеральных видов с As.

Бу-Аззер (Bou Azzer Aghbar) – еще один мирового уровня кобальтовый объект марокканского Анти-Атласа с вендскими датами (600–550 млн лет). Здесь в рудах открыты 18 минералов As. в т.ч. новый – буаззерит Bi₆(Mg,Co)₁₁Fe₁₄[AsO₄]₁₈O₁₂(OH)₄(H₂O)₈₆. В этом же ряду стоят рифейские бессульфидные Zn залежи рудного района **Стерлинг** (Sterling), США. В **Кипуши**, ДРК, руды содержат реньерит (Cu,Zn)₁₁(Ge,As)₂Fe₄S₁₆ (новый вид), германоколусит Cu₂₆V₂(Ge,As)₆S₃₂. Самородный As, арсенопирит, теннантит обычны в Fe-oxide-Cu-Au-U-REE залежах **Олимпийск Дам** (Olympic Dam, 1,6–1,0 млрд лет), Южная Австралия.

4. Ранний палеозой. К рубежу венда и раннего палеозоя относят формирование Cu–Pb–Zn с Ge и Ga залежей **Цумеб** (Tsumeb), Намибия. В его минеральной ассоциации 305 видов и разновидностей, 279 собственно минералов, из которых 70 впервые открыты здесь же, 82 минерала содержат As. Теннантит Cu₁₂As₄S₁₃, домейкит Cu₃As присутствуют в ордовикских массивных Pb–Zn–Ag сульфидах **Брансуик № 12** (Brunswick No12), Канада. Самородный As встречен в таких же нижнекембрийских залежах **Литтл Диэ** (Little Deer) на о. Ньюфаундленд. Вероятно, раннепалеозойскими являются содержащие арсенопирит хрусталеносные жилы Додо (ХМАО), пегматиты Мадагаскара.

5. Средний палеозой. В этот этап на Земле массово, хотя пространственно весьма избирательно, формировались месторождения вулканогенных массивных сульфидов (VMS). Во многих случаях они содержат арсенопирит и (или) самородный As, но разнообразия минеральных ассоциаций нет. Таковы более 80 объек-

тов **Иберийского Пиритового** пояса, включающего гиганты **Рио Тинто**, или **Уэльва** (Rio Tinto, Huelva), **Алхустрель** (Aljustrel), **Невес Корву** (Neves-Corvo). В Уральском поясе с ними схожи наиболее ранние сульфидные месторождения – **Узельга** и др. Из прочих генетических типов отметим Au-Ag-Cu-кварцевое **Би-консфилд** (Beaconsfield), Тасмания, и Au-Ag **Кубака** в Магаданской области.

6. **Поздний палеозой–средний триас**. Богатством своей минеральной ассоциации славится **Ленгенбах** (Lengenbach) в Швейцарии – сульфосоли и сульфиды в сахарных доломитах триаса. Всего известна 141 разновидность 127 минералов, 32 из них открыты здесь же. 13 минеральных видов содержат As, в т. ч. самородный, а также его диморфную разность – арсенолампит, мышьяково-сульфидное стекло. Богаты минералами As жилы U-Pb-Zn месторождения **Тшебско** (Třebско), 10 км к югу от г. Пшибрам, Чехия. Минералы As сопровождают раннепермские рудные поля с жильными Sn-W-Pb-Zn залежами британского Корнуолла (**REDRUTH, CARADON, ST. JUST, CAMBORNE**), центрального Французского массива, Иберийского полуострова. При этом в месторождениях вулканогенных массивных сульфидов Урала они редки. Даже залежи гигантского **Гайского** (43 минеральных вида и разновидности) отмечены лишь нечастыми находками теннантита $Cu_{12}As_4S_{13}$. Иначе на Урале смотрится лишь **Кочкарское** золото – арсенопиритовое плутоногенной золото-кварцевой формации. Здесь немало теллуридов, минералов Bi, но минерал с As единственный, хоть и основной. Арсенопирит и самородный As присутствуют в Fe-рудных скарнах **Сарбайского**, Казахстан. Первый также встречен и в Au-кварцевых телах узбекского **Мурун-Тау**, пермских флюорит-бертрандит-фенакитовых рудах **Ауникского**, Бурятия. В большой (91 вид и разновидность, 72 минерала) рудной ассоциации каменноугольного стратоподобного золотого месторождения **Сухой Лог**, Иркутская область, минералы As (кобальтин $CoAsS$, энаргит Cu_3AsS_4 и др.) занимают видное положение.

Триасовое **Белореченское**, или **Даховское**, U-Ni с баритом, месторождение в Адыгее относят к редкой для РФ пятиэлементной формации. Ранние анкеритовые и доломит-анкеритовые жилы содержат богатейшую U-As минерализацию. Из 86 разновидностей 81 минерала (в т. ч. два новых) 21 – мышьяковистые.

7. **Поздний триас–юра**. В залежах ртутного гиганта **Никитовка** в Донбассе из 59 видов и разновидностей минералов As содержат арсенопирит, герсдорфит $NiAsS$, аурипигмент, реалгар. Проявления двух последних одни из наиболее древних на Земле: их возраст, как и всей местной гидротермальной системы оценивают в 200 млн лет. В золото-кварцевых штоках **Наталки**, Якутия, открыты арсенопирит, мышьяковистый пирит, скородит $Fe^{3+}[AsO_4] \cdot 2H_2O$, раммельсбергит $NiAs_2$, глаукодот $(Co_{0,50}, Fe_{0,50})AsS$, теннантит $Cu_{12}As_4S_{13}$, селигманнит $PbCuAsS_3$. В залежах прочих рудных типов минералов As немного. Крупнейшее Sn-W месторождение **Яоганьсянь** (Yaogangxian),

Хунань, ЮВ Китай, с большой минеральной ассоциацией отмечено только тремя минеральными видами с As. Помимо арсенопирита, это канкит $Fe^{3+}AsO_4 \cdot 3.5H_2O$ и бедантит $Pb[Fe_3(OH)_6(AsO_4)(SO_4)]$. Крупнейший Au-Ag-Cu-Zn-As-Sb-Hg объект **Эски Крик** (Eskay Creek, Британская Колумбия, Канада) с 3 тыс. т ресурсов Ag в массивных сульфидах известен арсенопиритом и реалгаром. Кварцевожильное в вулканиках **Манантиаль Эспехо** (Manantial Espejo), Аргентина, с ресурсами 1,1 тыс. т Ag и более 190 т Au содержит немного арсенопирита. То же можно сказать и про шеелитовые залежи **Гленорчи** (Glenorchy) Новой Зеландии и грейзенизированные граниты **Ририваи**, Нигерия.

8. **Мел**. Арсенопирит – основной промышленный минерал As-Cu месторождения **Мацуиwa** (Matsuiwa, Kohoku), Хонсю, Япония. В рудах его сопровождает кобальтин $CoAsS$, в W-Sn грейзенах **Иульгина**, Западная Чукотка, арсенопирит присутствует в ассоциации с лёллингитом $FeAs_2$. Sn-W-Mo грейзены Тигрино-го, Приморский край, сопровождают арсенопирит и энаргит $Cu_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$. Для золотокварцевого штока **Форт Нокс** (Fort Knox), Центральная Аляска, первый из них оказывается одним из основных рудных минералов. Меловые вулканогенные массивные сульфиды **Беатрис** (Beatriz), Огненная Земля, Аргентина, из мышьяковых минералов содержат арсенопирит и кобальтин.

9. **Кайнозой**. Значительные ассоциации минералов As известны для месторождений Северо-Западного Пасифика, Альп, Кордильер. В залежах месторождения **Шануч** (Камчатка), уникального для подвижных поясов по формационному типу и возрасту, основным рудным оказывается виоларит Ni_2FeS_4 , присутствуют герсдорфит $NiAsS$, никелин $NiAs$. Раннечетвертичное (1,3–0,7 ± 0,1 млн лет) эпитемальное Au-Ag **Мутновское** на юге Камчатки известно минеральной ассоциацией из 93 видов и разновидностей (85 минералов). Среди них самородный As, колусит $Cu_3(Fe, As, Sn)S_4$, пирсеит $(Ag, Cu)_{16}As_2S_{11}$, прустит Ag_3AsS_3 , теннантит $Cu_{12}As_4S_{13}$, люонит Cu_3AsS_4 , арсенопирит, энаргит Cu_3AsS_4 . Миоценовое Pb-Zn-Ag месторождение Поллоне (Pollone), итальянские Апуанские Альпы, в залежах содержит арсенопирит, прустит Ag_3AsS_3 , биллинглейт Ag_7AsS_6 , кардучиит $(AgSb)Pb_6(As, Sb)_8S_{20}$, геокронит $Pb_{14}(Sb, As)_6S_{23}$, стерриит $(Ag_2Pb_{10}(Sb, As)_{12}S_{29})$, феттелит $[Ag_{10}HgAs_2S_8]$, новые минералы поллонеит $AgPb_{46}As_{26}Sb_{23}S_{120}$, парастерриит $Ag_4Pb_{20}(Sb_{14}As_{9,5})S_{58}$. Руды Cu-Zn-Mo-Ag порфинового гиганта **Бьютт** (Butte), Монтана, США, богаты энаргитом Cu_3AsS_4 , калуситом $Cu_{12}VAs_3S_{16}$ люонитом Cu_3AsS_4 , теннантитом $Cu_6[Cu_4(Fe, Zn)_2]As_4S_{13}$.

Арсенопирит зафиксирован в залежах важных промышленных объектов: в Au-Te, с Ag, Bi, **Зодском** в Армении; сурьмяном **Гёйнюк** (Göynük) в Турции; эпитемальном Au-Ag-Sn-W, с Bi, селенового типа, **Сиротан** (Cirotan), Индонезия; эпитемальном Au **Мармато** (Marmato), Колумбия; позднемиоценовом Au **Ватукорула** (Vatukoula), архипелаг Фиджи; Au-Ag-Pb-Hg **МакЛафлин** (McLaughlin), Калифорния, США. В

последнем случае, арсенопирит появился при активности крупной геотермальной системы 2,5 млн лет назад, обеспечив становление ресурсов Au 107 т.

3. Историко-минерагенические провинции (ИМП) с мышьяковой минерализацией

Ареалы распространения повышенных концентраций As, см рис. 2 и 3, и рассмотренные ранее прочих летучих элементов (Hg, Sb, Tl) в большой степени сходны [19–21], хотя различия существенны. As более распространен в земной коре – в среднем в 1,8 г/т, для Hg эти значения только 0,08 г/т, Sb – 0,2 г/т, Tl – 0,45 г/т. По этой причине крупные аккумуляции As часто обнаруживают там, где объекты с Hg, Sb, Tl редки или отсутствуют, например, на Южных материках.

Распределение проявлений As по поверхности континентов обнаруживает особенности:

1 – высокую степень неоднородности. Так, некоторые ареалы содержат многие сотни As объектов, а на обширных площадях ВЕП, Западной и Восточной Сибири скоплений As практически нет. В центральных районах ВЕП их установлено всего четыре. Три связаны с породами фундамента (золотые руды **Майского** под Одессой; углеродистые сланцы Тим–Ястребовской структуры, рифейские пегматиты **Володарска–Волынского** у Житомира). Четвертый объект – **Никитовка** на площади Главной антиклинали Донбасса – часто выносят за пределы ВЕП, как и весь его синклиний;

2 – выраженную линейность. Полосы арсенопиритовых проявлений тянутся на многие тысячи километров при переменной, но меньшей ширине вдоль континентальных ограничений Циркум–Пацифика, Атлантики, Австралии. Есть они и в интрукратонных обстановках: Урало–Охотский суперпояс, площади, отвечающие Великим Африканским рифтам, южному ограничению Верхоянско–Чукотской складчатой системы. Менее распространены изометричные ареалы, занявшие Восточный Китай, Скандинавию, территории США и Канады южнее Гудзона залива;

3 – тесные связи с тектоническими структурами. На схемах чередой разновозрастных ИМП отразились: подвижный суперпояс Кордильер и Анд; области складчатости гренвилльской США и Канады яньшаньской (юр–начало палеогена) Восточного Китая; варисской (карбон–триас) Западной Европы;

4 – дискретность и гетерохронность становления в пределах единых тектонических структур первого ранга. В случае восточного сегмента Циркум–Пацифика по распределению высотемпературных арсенопиритовых объектов выделяются два древнейших (юрских) ядра: ИМП **Британской Колумбии** (т. 48, см. рис. 2), запад Канады, и ИМП **Магальянес** (Magallanes, т. 52, см. рис. 2), крайний юг Аргентины. В мелу к первой ИМП добавилась ИМП **Аляски** со многими сотнями месторождений арсенопирита (т. 49 и др., см. рис. 2), ко второй – ИМП **Огненной Земли** (т. 53, см. рис. 2). Лишь в кайнозое возрастающая глубинная термическая активность охватила весь суперпояс Кордильер–Анд, оставив свидетельствами арсенопиритовые месторождения, многочисленные в Кордильерах и более редкие в Андах.

Характерен Периавстралийский суперпояс, охватившей подковой почти всю Австралию. Историко-минера-

генический анализ подсказывает: его становление началось с **Западной ИМП** в архее, где появились многие Cu–Zn–Pb–Au–Ag аккумуляции с арсенопиритом типа **Голден Гров** (Golden Grove, т. 14, см. рис. 2). В рифее подобные Pb–Zn–Ag объекты возникли в **Северной ИМП** (**Мак-Артур**, McArthur, т. 41), а в D₃–C₃ – в **Юго-Восточной ИМП** (**Биконсфилд**, Beaconsfield, т. 42, см. рис. 2).

Сложны контуры ИМП **Юго-Восточного Китая–Приморья–Японии**, в пределах которой несколько сотен арсенопиритовых объектов формировались в яньшаньский этап (J₂–K), именуемый китайскими геологами «минерагеническим взрывом». В этой ИМП угадывается зональность: в Восточном Китае арсенопирит присутствует преимущественно в более древних («раннеяньшаньских», средне-верхнеюрских) Sn–W объектах типа **Яоганьсянь** (Yaogangxian, 153±7 млн лет и 163,2±4,2 млн лет, т. 47 на рис. 2). В Японии месторождения с арсенопиритом (**Мацуива**, Matsuiwa, As–Cu) преимущественно меловые как и в Приморье (**Тигриное**, Sn–W–Mo, 86±4 млн лет). В **Камчатской ИМП** рудные объекты с арсенопиритом кайнозойские: **Мутновское**, Au–As, 1,3–0,7 ± 0,1 млн лет; **Шануч**, Cu–Ni, эоцен.

В ранних работах настоящего цикла отмечалось тяготение крупнейших месторождений Hg, Sb, Tl к «полосе сороковой параллели». Термин, несомненно, условный. На большей части «полосы» от вершины Калифорнийского залива до Средней Азии основные мирового уровня аккумуляции Hg и Sb действительно в нее попадали (ртутные **Нью-Альмаден**, **Нью-Идрия**, **Альмаден**, **Идрия**, **Никитовка**, и т. д.; сурьмяные **Бивербрук**, **Кадамджай**, **Джизжикрут** и т. д.), однако восточный фланг «полосы» заметно отклонён к югу, до широты 30°. Так, **Сигуаньшань**, «Сурьмяная столица Мира», как ее именуют китайские геологи, находится под 27°41'N, 111°26'E. Отмечалось также примерное совпадение «полосы» на большей части ее протяженности с осью океана Тетис.

На схемах (см. рис. 2) «полоса сороковой параллели» кажется почти не выраженной, но это не совсем так. Если учесть количество приуроченных к ней объектов (условные обозначения 8–10), то выясняется: «полосу» траассируют с запада на восток наиболее насыщенные аккумуляциями арсенопирита площади: восточного выступа кайнозойской ИМП **Кордильер** – герцинской ИМП **Иберийского полуострова** – альпийской ИМП **Италии и Балкан** – яньшаньской ИМП **Юго-Восточного Китая**.

Обратившись же вновь к рис. 3, где обобщены данные по рудным месторождениям с самородным As, заметим: 1 – тяготение подавляющего большинства к Северному полушарию (этот типичный для всех летучих эффект здесь более заметен чем на схеме рис. 2); 2 – дискретную выраженность окраин Циркум–Пацифика; 3 – характерный «бумеранг» Урало–Охотского суперпояса, траассируемый площадями ИМП герцинской **Уральской** (месторождения с As **Воронцовское**, **Сарбайское**), позднегерцинской– киммерийской **Узбекско-Тувинской** (**Коч Булак**, **Арыскан**), меловой **Прибайкальской** (**Дарасун**).

Заключение

Распространение повышенных концентраций As на континентах Земли во многом схоже с таковым Hg, Sb, Tl. Эти летучие элементы в земной коре обладают высокой

подвижностью, но из-за специфических особенностей каждого (разные температуры плавления, кипения, способность к образованию устойчивых соединений, распространённость) содержащие их рудные объекты оказываются в историко-минералогических провинциях разных конфигураций и возрастов, подтверждая закономерности общие и отличия частные.

Наиболее важные и многочисленные рудные объекты с As, Hg, Sb, Tl тяготеют к относительно узкой зоне Циркум-Пацифика и дискретной субширотной «полосе сороковой параллели» Евразии. Последняя маркирует на большем протяжении мощную линейную структуру растяжения Тетиса, продолжается цепью важных рудных объектов в Западное полушарие, к основанию Калифорнийского полуострова.

Историко-минералогический анализ показал, что флюидная (летучие) активность протяженных, до 15 тыс. км, подвижных суперпоясов формировала их рудный потенциал не одновременно. Первоначально минерализация возникла в древних рудных «ядрах» на кратонах и вдоль их ближней периферии, постепенно распространяясь к флангам. В мезозое для Циркум-Пацифика ими стали юрские ИМП **Британской Колумбии** на западе Канады и **Магальянес** (Magallanes), на крайнем юге Аргентины. В раннеяньшаньский этап (юра) таким «ядром» оказалась «платформа Яньцзы» на юго-востоке Китая.

Древние высокотемпературные рудные объекты с арсенопиритом по обоим берегам Атлантики, свидетельства мощных флюидо-термальных потоков, могут рассматриваться как признаки длительной предыстории формирования ограничений этого океана, возможно, уходящей в докембрий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко, А. Д. Ультратонкое золото / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв // Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 6. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2001. – 136 с.
2. Савко, А. Д. Геохимические особенности и генезис золота осадочного чехла Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильаш, В. А. Окозов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 1996. – № 2. – С. 86–95.
3. Савко, А. Д. Есть ли промышленные россыпи золота в недрах ЦЧЭР? / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 1996. – № 2. – С. 197–205.
4. Савко, А. Д. Золото и редкие минералы в осадочном чехле Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильаш, Е. Н. Божко // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 1996. – № 1. – С. 133–138.
5. Шевырёв, Л. Т. Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и её эндогенный рудогенез / Л. Т. Шевырёв, А. Д. Савко, А. В. Шишов // Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 25. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – С. 1–191.
6. Историческая минералогия. Т. 3. Историческая минералогия подвижных суперпоясов : в 3-х т. [Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв]. – Воронеж: ВГУ, 2008. – 622 с.
7. Савко, А. Д. Экстазиционно-осадочная металлоносность Воронежской антеклизы – новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. Статья 1. Интерметаллиды: локализация, типы, состав / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Лоскутов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 1999. – № 7. – С. 139–155.
8. Data of Geochemistry – Sixth Edition [Электронный ресурс]. URL: <http://pubs.usgs.gov/pp/0440b-1/report.pdf> (Дата обращения 15.10.2015).
9. Мышьяк – классический яд средневековых и современных... [Электронный ресурс]. URL: <http://jewellery.org.ua/stones/games308.htm> (Дата обращения 15.10.2015).
10. Тяжелые металлы в почве. – ПДК, ОДК [Электронный ресурс]. URL: http://gidrolog.ru/ecol/hv_met.htm (Дата обращения 15.10.2015).
11. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – 340. Мышьяк, неорганические соединения (в пересчете на мышьяк) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/gn21669598predeinodopusti.html> (Дата обращения 15.10.2015).
12. Околелова, А. А. Особенности содержания мышьяка в почвах различного генезиса [Электронный ресурс]. URL: http://rusnauka.com/4_SND_2013/Ecologia/6_127786.doc.htm (Дата обращения 15.10.2015).
13. REIMANN, CLEMENS. Arsenic distribution in the environment: The effects of scale / Clemens Reimann, Jörg Matschullat, M. Birke, R. Salminen // Applied Geochemistry, 2009. – 24. – P. 1147–1167.
14. Arsenopyrite: Arsenopyrite mineral information and data. [Электронный ресурс]. URL: <http://mindat.org-min-305.html> (Дата обращения 15.10.2015).
15. Кёшевич, Л. В. Условия образования золоторудных месторождений и проявлений в докембрии Карельского кратона [Электронный ресурс]. URL: http://krc.karelia.ru/doc_download.php?id...table_ident... (Дата обращения 5.10.2015).
16. COSTAGLIOLA, M. Metamorphogenic barite-pyrite (Pb-Zn-Ag) veins at Pollone, Apuane Alps, Tuscany: vein geometry, geothermobarometry, fluid inclusions and geochemistry / P. Costagliola, M. Benvenuti, P. Lattanzi, and G. Tanelli // Mineralogy and Petrology, 1988. – 62. – P. 29–60.
17. Arsenic: Arsenic mineral information and data [Электронный ресурс]. URL: <http://mindat.org-min-357.html> (Дата обращения 15.10.2015).
18. Чернышов, Н. М. Новый тип Au–PMG оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 1996. – № 1. – С. 114–132.
19. Шевырёв, Л. Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке Земли: вероятная историко-минералогическая интерпретация. Статья 1. Ртуть / Л. Т. Шевырёв // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2013. – № 2. – С. 106–117.
20. Шевырёв, Л. Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке Земли: вероятная историко-минералогическая интерпретация. Статья 2. Сурьма / Л. Т. Шевырёв // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2014. – № 1. – С. 5–12.
21. Шевырёв, Л. Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке Земли: вероятная историко-минералогическая интерпретация. Статья 3. Таллий / Л. Т. Шевырёв // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2015. – № 3. – С. 5–16.

Воронежский государственный университет

Шевырёв Л. Т., ведущий научный сотрудник НИИ Геологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук

E-MAIL: SHEVPP@YANDEXRU

Тел. 8 (473) 235-39-42

VORONEZH STATE UNIVERSITY

SHEVYREV L. T., LEADING SCIENTIFIC ASSOCIATE OF THE VSU INSTITUTE OF GEOLOGY, DOCTOR OF THE GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES

E-MAIL: SHEVPP@YANDEXRU. 8 (473) 235-39-42