

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ В
ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗЕМЛИ: ВЕРОЯТНАЯ ИСТОРИКО-
МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ. Статья 5. Висмут****Л. Т. Шевырѐв****Воронежский государственный университет**

Поступила в редакцию 1 мая 2016 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 Bi. В отличие от Hg с ее мезокайнозойскими аккумуляциями, проявления Bi гетерохронны, от раннеархейских (пояс Барбертон, Южная Африка) до современных (Эсканаба, Тихий океан). Вновь созданная хронологическая база данных для эталонных минералов (висмутин и самородный Bi) на континентах Земли позволила раскрыть крайнюю неравномерность в их распределении, оконтурить линейные и очаговые ареалы. Помимо подразделений Циркумпацифика, среди первых: пояса Великих рифтов Африки, Перилавертийский, западной и восточной окраин Северной Атлантики. Вторые представлены герцинидами Западной Европы, альпидами Балкан и Карпатской дуги, областями Балтийского щита, древними кратонами Западной и Южной Австралии, якутского Верхоянья, Центральной Азии. Пространственное положение и возрасты историко-минерагенических провинций (ИМП) для скоплений минералов Bi позволяют предполагать большую, чем принято считать, длительность формирования ограничений современных океанов.

Ключевые слова: историко-минерагенический анализ, висмутин, самородный висмут, делимость земной коры, разновозрастные месторождения висмута.

**REGULARITIES IN THE VOLATILE ELEMENTS DISTRIBUTION IN THE SURFICIAL
ENVELOPE OF EARTH : PROBABLE HISTORICAL-MINERAGENICAL INTERPRETATION.
Paper 5. BISMUTH**

Abstract: elevated concentrations of the volatile Hg, Sb, As, Tl, Bi tend 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) position of the planetary rank ore-controlling structures as well as decipher their formation chronological successiveness, estimate deepness. The present description of the historical-mineragenical analysis results completes the series of papers being undertaken for the bismuth-ferrous objects. In difference from the Hg Mesozoic –Cenozoic accumulation the Bi occurrences are heterochronous much more, from Early Archean (Barberton belt, S. Africa) through Recent (Escanaba, Pacific). Newly compiled database for model Bi minerals (bismuthinite and native bismuth) let disclose anomalous unevenness in the occurrences distribution on the Earth's continents. Two groups of the Bi-ferrous structures (lineal ones and 'hearth' or plumes) are differed and aligned being founded upon the new chronological database. Among them besides Circum-Pacific super-belt subdivisions are the African Great Rifts, Peri-Laurentia, western and eastern verges of North Atlantics. The latter ones are: Western European Hercinides; Alpides of the Balkans, Carpathians, regions of Baltic Shield, ancient cratons of West and South Australia, Yakut Verkhoyan'e, Central Asia. Spatial position and ages of the historical-mineragenical provinces (HMP) for Bi minerals let assume more continuous duration of the present Oceans verges formation.

Key words: historical-mineragenical analyses, bismuthinite, native bismuth, tectonic blocking of the Earth crust, heterochronous bismuth deposits.

Висмут – распространенная примесь в золоте, отчего его геохимические ореолы рассматривают как поисковый признак на коренные аккумуляции металла. В Воронежском ультратонком золоте Bi обнаружен в 9 % золотин из изученных 61 в значениях от 0,1 % до 2,217 % [1, 2]. Висмутистые зерна происходят из проявлений южного фланга Павловско–Липецкой зоны, протянувшейся от с. Нижний Бык Бутурлиновского района до г. Воронежа.

Признанный элементом в 1753 г. (Клод Франсуа Жоффруа), этот редкий металл (0,2 г/т в земной коре, 0,02 г/т в морской воде) несколько веков до того считался разновидностью Pb, Sb, Sn. Были популярны висмутовые, или «испанские», белила, BiOCl как блескообразователь в лаке для ногтей, теней, губной помады. Инки использовали Bi в изготовлении мечей, блестящих на солнце, благодаря радужному переливу из-за пленки Bi₂O₃ на поверхности [3]. Сплавы на основе Bi – теплоносители в ядерных реакторах на быстрых нейтронах субмарины К-27 и еще семи проектах 705 «Лири». Облучив Bi медленными нейтронами, получают полоний-210, необходимый для ионизации газов, источников нейтронов без γ -излучения. Bi₄Ge₃O₁₂ – детектор ядерного излучения. Еще большую эффективность ожидают от Bi₂Ga₄O₉. В радиоэлектронике сплавами Bi покрывают проводники печатных плат.

С добавкой 0,003 % Bi получают «автоматные стали» для обработки на компьютеризованных станках. У Al сплавов с 0,1 % Bi лучше формовка деталей за счет приобретенной пластичности: расширение в объеме на 3,32 % обеспечивает проработку самых малых деталей форм (в расплаве Bi плотнее твердого состояния, 10,07 г/см³ против 9,8 г/см³).

При получении акриловых полимеров эффективным катализатором служит Bi₂O₃, а порошковый Bi помогает преобразовать NF₃ в окислитель ракетного горючего тетрафторгидразин N₂F₄. Ванадат BiVO₄ – основа ярко-желтых пигментов. Сегнетоэлектрики Bi₂(WO₄)₃, Bi₂(SnO₃)₃–BiO₄V⁵⁺, Bi₁₂SiO₂₀, Bi₃NbO₇ – в ячейках памяти компьютеров, преобразовании лазерного излучения, компактных конденсаторах большой емкости. В пленках BiFeO₃ в электрическом поле при низких T возникает магнитный момент; это перспективный магнитоэлектрик в головках чтения и записи данных. Эффективные выключатели и усилители получают благодаря аномальному показателю электросопротивления, свойственного в магнитном поле сплаву из 88 % Bi и 12 % Sb. Керамические фазы с оксидом Bi, применяют в высокотемпературных топливных элементах (электрохимических устройствах для получения электроэнергии). Керамики с Bi₂O₃ – сверхпроводники с переходом в сверхпроводимость при 110° К. Мощный диамагнетик (вещество, намагничивающееся против направления внешнего магнитного поля), Bi отталкивается от любого полюса магнита, демонстрируя явление «диамагнитной левитации». Из ферромагнетика MnBi массово производят постоянные магниты.

Сплавы Bi с Cd, Sn, In, Tl, Hg, Zn имеют T_{плавл.} до +41 °С. Таковы сплав Вуда (50 % Bi, 25 % Pb, 12,5 % Sn и 12,5 % Cd), T_{плавл.} = 68,5° С), сплав Розе (25% Sn, 25% Pb, 50% Bi). T_{плавл.} = +94° С). С их помощью крепят на станках трудные для процессинга заготовки из U и W. Pb(BiO₃)₂ в литевых элементах – положительный электрод. Как и смесь Bi₂O₃ и графита в Bi–Mg источниках питания. Из-за высокой энергоемкости, надежности в космосе, военном деле применяют Hg–Bi–In батареи. BiF₃ участвует в производстве энергоемких La-фторидных аккумуляторов. Оксид-хлорид BiOCl полезен в крекинг-процессе УГВ. В медицине он применим в изготовлении кровеносных сосудов и как рентгеноконтрастный препарат. Соли Bi(NO₃)₃ и др. лечат язву желудка и двенадцатиперстной кишки, снижают токсичность противораковой химиотерапии. Единственные, они уничтожают вызывающие язву бактерии Helicobacter Pylori. Антисептик Bi₂O₃, средство при желудочно-кишечных болях, перспективно в онкологии. Место в фармакологии заняли висмутовые: галлат Bi₂Ga₄O₉, тартрат Bi₂(C₄H₄O₆)₃, карбонат Bi₂(CO₃)₃, субсалицилат C₇H₅BiO₄ («розовый Bi», при нарушении пищеварения), субцитрат C₁₂H₁₀BiK₃O₁₄ (гастропротективный, антибактериальный «Де-Нол»), субнитрат Bi₃H₉N₁₂O₂₂, трибромфенолат C₁₈H₆(BiBr₉)₃, или ксенолат. Последний в смеси с березовым дегтем (для кровопотока к тканям) и касторовым маслом есть антисептик «мазь Вишневского». Наконец, ранидина висмута цитрат – эффективное противоязвенное средство.

Близость плотности неядовитого Bi (9,8 г/см³) и опасного Pb (11,34 г/см³) позволила заменить последний в ружейной дроби (в Канаде с 1997 г.).

Долгое время производство Bi росло: в 2003 г. добыто 3,8 тыс т, 2005 г. – 8,2 тыс т, 2012 – 13,2 тыс т (80% в Китае, США получение Bi оставили в 1997 г). Росли и цены. В 1997 г. 1 кг Bi (99,99%) стоил \$8,8, в 2011 г. – \$26,4. Тем не менее, влияние Мирового кризиса очевидно. В 2014 г. в Мире произведено только 8,4 тыс т Bi (в Китае – 7,6 тыс т, Мексике – 825 т, России – 40 т, Канаде – 35 т, Боливии – 10т). Геологическая служба США оценила в 2012 г мировые ресурсы Bi в 315–320 тыс т [4].

1. Висмут на земной поверхности, в недрах и космосе

Собственно висмутовые объекты (0,2–0,5 % Bi) редки, отчего 90 % добычи происходит попутно из сульфидных Bi-содержащих руд. В последних элемент концентрируется в галените, мальдоните Au₂Bi. Собственно висмутовыми считают Тасна (Tasna) и Чорольке (Chorolce) в Боливии (T₃–J₁), Адрасман в вилояти Согд Таджикистана (P–T), Уипстэк (Whipstick, D₁₋₂), Австралия. Типов прочих гидротермальных объектов немало (W–Cu–Bi, Cu–Ni–Bi–Ag–U, Au–Bi, кварцево–Bi). Часто они ассоциируют с гранитоидами, в т. ч. кислыми. Висмутин и Bi самородный в них возникают в начале кислотной стадии сульфидообразования в пони-

мании Д. С. Коржинского. В щелочную стадию с понижением Т и большей подвижностью O_2 элемент мобилизуется, образует сульфосоли [5]. Немало минералов Вi отлагают дымы вулкана Кудрявый, о. Итуруп, – гуанахуатит Bi_2Se_3 , канницарит $Pb_4Bi_6S_{13}$, козалит $Pb_2Bi_2S_3$, бисмоклит $BiOCl$, лиллианит $Pb_3Bi_2S_6$, висмутин, икунолит $Bi_4(S,Se)_3$, знаменскиит $Pb_4In_2Bi_4S_{13}$ – новый [6, 7].

Вi присутствует в почвах обычно в количествах безопасных для человека, в среднем 0,42 г/т. В поверхностном слое поселений его 0,7 – 2 г/т. «Чем больше поселение, тем больше Вi в его почвах. В городах с населением около 1,0 млн человек (г/т) – 1,2, с населением 0,5 млн – 1,1, менее 100 тыс человек – 0,96» [8]. Распространение элемента в земных и космических объектах укажем в таблице.

Таблица

Средние содержания Вi в природных объектах. С использованием [9 – 21].

Природные объекты	Вi (мг/кг, г/т, ppm). Для вод – мг/л, г/м ³	Источник	Природные объекты	Вi (мг/кг, г/т, ppm)	Источник
1. Земная кора и мантия					
Вся земная кора, оценка	0,2	[9]	Мантия	0,005	[10]
2. Магматиты					
Ультрабазиты, в т. ч. кимберлиты	0,01 0,03	[11] [12]	Средние магматиты	0,08	[11, 13]
Ультрабазиты	0,005	[13]	Гранитоиды	0,04	[13]
Базиты	0,007	[11]	Кислые магматиты	0,01	[11]
Базальты Океана	0,007	[13]	Граниты	0,66	[14]
Сиениты	0,18	[14]	Риолиты	0,9	[15]
3. Угли					
Угли, битумы, в среднем	5	[15]	Англия, газовые угли, без пирита (С)	0,4	[16]
Софийский бассейн, бурые, N ₂	2,3	[17]	Там же, с пиритом	0,1	[16]
Там же, высокозольные разности	3,8	[16]	Таймырский бассейн (Р), метаантрациты	2	[16]
4. Почвы					
В среднем, Мир.	0,42	[9]	Северная и Цент- ральная Европа, Греция, СВ Испании	<0,50 (подпочвы)	[15]
Южная Франция (флюо- ритовый рудник Менде)	6,49 (подпочвы)	[15]	Испания, Сьерра Морена	9,59 (пахотный слой)	[15]
Китай	0,04–1,2	[9]	США	0,03–0,69	[9]
5. Континентальные отложения					
Глины	0,01	[17]	Песчаники (J), Таджикистан	0,30	[18]
Сланцы	0,26	[15]	Песчаники (K), Та- джикистан	0,49	[18]
Известняки	0,03	[15]	Fe бокситы, Fe руды	до 5	[15]
6. Морские отложения					
Отложения, в среднем	0,1	[17]	Нодулы Атлантики, Пацифика, Индий- ского океанов	0,5–24,4 (5,3 в среднем)	[19]
Fe–Mn нодулы Океана	10–90 (20 в среднем)	[19]	Нодулы, Индийский океан	8,2	[19]
7. Флора					
Средняя оценка по Миру	<20	[9]	Овощи, съедобная часть	0,06	[9]
Скалистые горы, деревья (15%)	10–15	[9]	Плаун <i>Lycopodium</i> sp.	<1 – 11	[9]
Норвегия, мхи (площади со- сжиганием угля)	1–800	[9]	Мхи <i>Cares lagustris</i> – <i>Agrostis scrabra</i>	65–95 (площа- ди использова- ния Вi дробы)	[9]
8. Воды					
Средняя оценка по Миру, воды пресные (оценка) Подземные воды	0,2 – 10 20	[5] [20]	Воды морские, средняя по Миру	0,02	[20]
Текучие воды	< 0,002 – 0,16 (0,002, медианная)	[15]	Бас. Оби и Енисея. Лесная зона	4,8 (поверхн.), 2,3 (подзем- ные)	[5]

Продолжение табл.

Финляндия, текучие воды	>0,006	[15]	Ю. Швеция, часть Польши, текучие воды	>0,006	[15]
9. Метеориты					
Хондриты C1	0,103–0,188 (114)	[21]	Хондриты, Е4	0,086 –0,177 (0,133)	[21]
Ахондриты малокальциевые	0,0028–0,0033	[21]	Железные метеориты	0,0005–0,0079	[21]

Из более 140 минералов Bi наиболее распространены висмутин Bi_2S_3 и самородный Bi. Их местонахождения, почерпнутые из [6, 7] и других источников [9–21], указаны на рис. 1 и 2. Всего в мире подобных высоко- и среднетемпературных объектов известно около пятисот.

1. Архей. Самородный Bi и тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ присутствуют в Au-рудных месторождениях зелено-каменного пояса Барбертон (древнее 3,6 млрд лет, № 120, рис. 2), ЮАР. В Костомукшском поясе на западе Карелии с гранитами массива Восточный (2,8–2,7 млрд лет) ассоциирует Cu–Mo порфириная минерализация с Bi и Au [22]. Среди пород нижнеархейского чарнокит-гранулитового СФК Днестровско-Бугского блока УЩ (север Одесской области) в залежах Au-рудного месторождения Майского (№ 4, рис. 1) описаны самородный Bi, Ag_2Te , висмутин Bi_2S_3 , жозеит-В $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$, густавит $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$, икунолит $\text{Bi}_4(\text{S},\text{Se})_3$, крупкаит $\text{PbCuBi}_3\text{S}_6$, хедлейит Bi_7Te_3 .

Эки Ист (Eqi East), район Каасуитсуп (Qaasuitsup, № 3, рис. 1), Гренландия, – позднеархейские (2,8 млрд лет) золотоносные жильные залежи с висмутином в зоне брекчий. На соседнем Cu-Au объекте Эки Уэст (Eqi West) встречен только самородный Bi. Несколько моложе (2614 ± 14 млн лет, Re-Os, молибденит) Cu-Au-Mo с висмутином минерализация Гамалейра (Gameleira), Бразилия.

Золоторудное поле Тропикана (Tropicana, № 89, рис. 1), Западная Австралия, – недавнее открытие на краю архейского кратона Йилгарн (Yilgarn). Минерализована (6–8 % сульфидов, в т. ч. висмутин) зона мощностью 63 м.

Висмутин, эвлитин $\text{Bi}_4(\text{SiO}_4)_3$ содержат неоархейские (?) пегматиты Харрисонс Реворд (Harrison's Reward), запад Австралии. В Li пегматитах (2,65 млрд лет) Ред Кросс Лэйк (Red Cross Lake, № 89, рис. 2), пров. Манитоба, Канада, встречен самородный Bi. Содержат висмутин пегматиты Майка Кинг Саут (Mica King South) кратона Пилбара (2,85 млрд лет) Западной Австралии. Там же в Cu-Zn-Pb-Ag вулканогенных массивных сульфидов (VMS) Уим Крик Копа (Whim Creek Copper, 2,9–2,8 млрд лет) открыты самородный Bi, висмутин, галенобисмутит PbBi_2S_4 , эмплектит CuBiS_2 . Cu-Pb-Zn массивные сульфиды среди архейских вулканитов Изок Лэйк (Izok Lake), территория Нунавут (Nunavut), Канада, содержат Bi, изоклейкит $\text{Pb}_{27}(\text{Cu},\text{Fe})_2(\text{Sb},\text{Bi})_{19}\text{S}_{57}$ (новый вид), яскоульскиит $\text{Pb}_{2+x}\text{Cu}_x(\text{Sb},\text{Bi})_{2-x}\text{S}_5$, козалит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$, нафилдит $\text{Cu}_{1,4}\text{Pb}_{2,4}\text{Bi}_{2,4}\text{Sb}_{0,2}\text{S}_7$.

2. Ранний протерозой. Золоторудное Ваайкрааль (Waaikraal, 2054–2061 млн лет), ЮАР, связано с силлом пироксенитов лополита Бушвельд. С Au находятся Bi, висмутин, мальдонит Au_2Bi , жозеит Bi_4TeS_2 . Минералы Bi содержат Ni объекты района Садбери, Канада (1,8–1,7 млрд лет). В минеральной ассоциации месторождения Страткона (Strathcona) выявлены Bi, бисмоклит BiOCl , висмутин, галенобисмутит PbBi_2S_4 , теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , инсизваит $\text{Pt}(\text{Bi},\text{Sb})_2$, новый теллуругаухекорнит $\text{Ni}_9\text{Bi}(\text{Te},\text{Bi})\text{S}_8$, гаухекорнит $\text{Ni}_9\text{BiSbS}_8$, фрудит PdB_2 , меренскиит $(\text{Pd},\text{Pt})(\text{Te},\text{Bi})_2$, мончеит $(\text{Pt},\text{Pd})(\text{Te},\text{Bi})_2$, майченерит PdB_2Te , паркерит $\text{Ni}_3\text{Bi}_2\text{S}_2$, соболевскит PdB_2 , тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$. На соседнем объекте Фруд (Frood) открыты новые виды: фрудит PdB_2 , майченерит PdB_2Te , паркерит $\text{Ni}_3\text{Bi}_2\text{S}_2$. Недалекий Вермилион (Vermilion) добавил в список новый арсеногаухекорнит $\text{Ni}_{18}\text{Bi}_3\text{AsS}_{16}$.

Висмутин и меренскиит $(\text{Pd},\text{Pt})(\text{Te},\text{Bi})_2$ отмечены в ультрамафитах с хромитами Кампо Формозо (Campo Formoso, 2 млрд лет), Бразилия.

К пятиэлементной формации относят Эко Бэй (Echo Bay, 1770–1650 млн лет), Северо-Западная территория Канады, с Bi, висмутином.

На севере Центральной Швеции сульфиды (VHMS) Болиден (Boliden, 1,9 млрд лет) содержат в минеральной ассоциации (72 вида): Bi, висмутин, бончевит (смесь галенобисмутита PbBi_2S_4 и пекоита $\text{PbCuBi}_{11}(\text{S},\text{Se})_{18}$), эмплектит CuBiS_2 , гунгалит (смесь козалита $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$ с галенитом), гуанахуатит Bi_2Se_3 , хедлейит Bi_7Te_3 , жозеит Bi_4TeS_2 , кобеллит $\text{Pb}_{13}(\text{Bi},\text{Sb})_8\text{Sb}_5\text{S}_{32}$ и его селенистую разновидность $\text{Pb}_{13}(\text{Bi},\text{Sb})_8\text{Sb}_5\text{S}_{32}$, лайтакарит $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$, лайтакарит $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$, лиллианит $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$, теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$. Подобный Болидену соседний Фалун (Falun, 2,0–1,87 млрд лет) отмечен, помимо Bi и висмутин, фридрихитом $\text{Pb}_5\text{Cu}_5\text{Bi}_7\text{S}_{18}$, икунолитом $\text{Bi}_4(\text{S},\text{Se})_3$, джуноитом $\text{Pb}_3\text{Cu}_2\text{Bi}_8(\text{S},\text{Se})_{16}$, лайтакаритом $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$, лиллианитом $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$, невскитом $\text{Bi}(\text{Se},\text{S})$, новым нордстремитом $\text{CuPb}_3\text{Bi}_7(\text{Se}_4\text{S}_{10})$, пекоитом $\text{PbCuBi}_{11}(\text{S},\text{Se})_{18}$.

Жильное Контакт Лэйк (Contact Lake, 1,72 млрд лет), Канада, связано с шир-зоной, расщелившейся гранодиориты плутона Литтл Диз (Little Deer). Самородное Au сопровождают Bi и висмутин.

В пегматитах Иттерби (Ytterby, 1,8–1,9 млрд лет), Швеция, впервые были открыты Y, Yb, Tb, Er, Gd, Ho, Sc, Th, Lu, Ta. В минеральной ассоциации присутствует Bi. Уникально Плоскогогорское месторождение

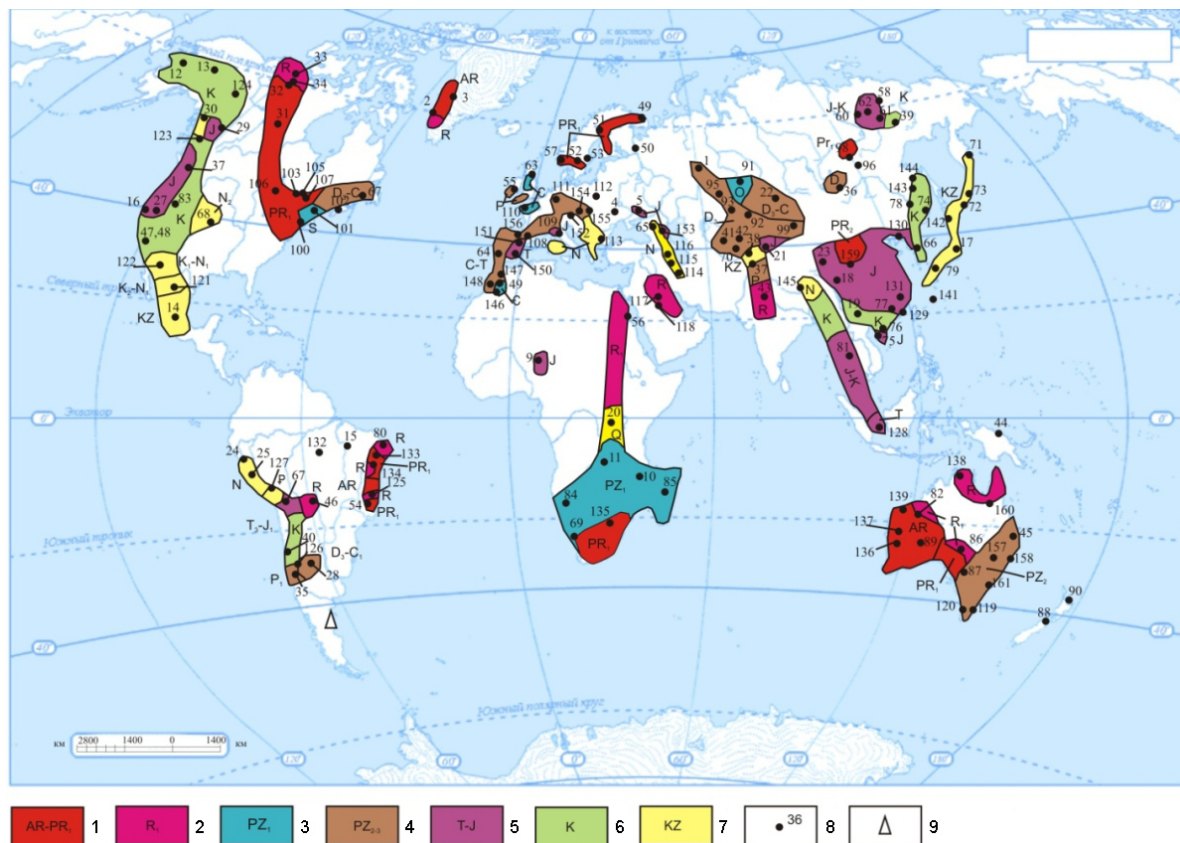


Рис. 1. Историко-минерагенические провинции (ИМП) с проявлениями висмута. 1–7 – ИМП, в т. ч.: 1 – раннедокембрийские, 2 – позднедокембрийские, 3 – раннепалеозойские, 4 – средне-позднепалеозойские, 5 – киммерийские (Т–J), 6 – меловые, 7 – кайнозойские; 8 – эталонные рудных объекты с висмутом; 9 – In–Pb–Zn жильное сульфидное **Пингуино** (Pinguino, T–J), Аргентина, с богатым комплексом прочих минералов Bi.

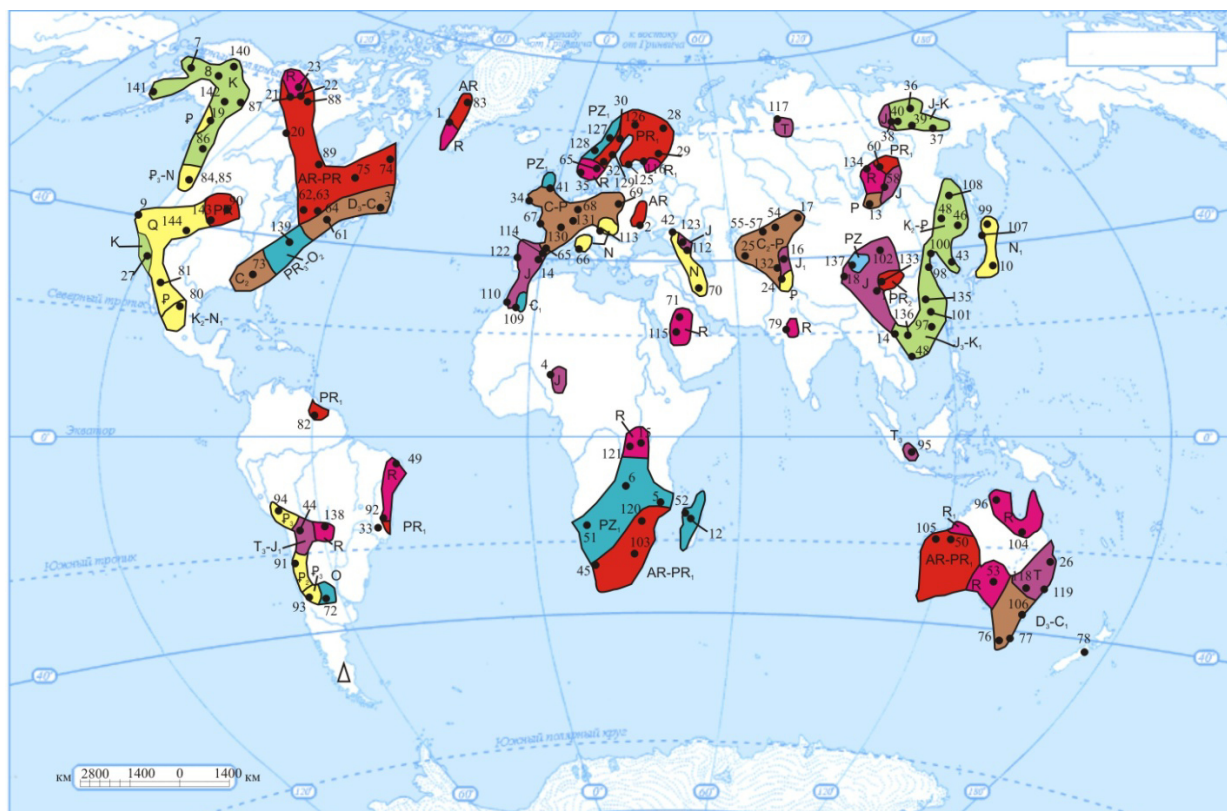


Рис. 2. ИМП с проявлениями самородного висмута. Условные обозначения см. рис. 1.

амазонитовых рандпегматитов (метасоматитов, 1682 млн лет), Мурманская область. Среди 70 минералов его парастеризиса (6 новых видов) – Bi, бисмит Bi_2O_3 , эмплектит CuBiS_2 , силленит $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, заварикит BiOF , висмутин, бисмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. Катугинское (2,0–1,8 млрд лет), Забайкальский край, – крупный криолит–Ta–Nb–TR объект в метасоматитах. В рудах Bi, висмутин.

Высококалийевые туфогенно-карбонатные шунгиты с U, Pt, Au, Cr, V Средняя Падма в Карелии (1,9 млрд лет) содержат Bi, висмутин, богдановичит AgBiSe_2 , фрудит PdB_2 , гуанахуатит Bi_2Se_3 , инсизваит $\text{Pt}(\text{Bi},\text{Sb})_2$, новые малышевит PdCuBiS_3 и падмаит PdB_2Se , парагуанахуатит Bi_2Se_3 . Урановые руды Отиш Маунтинс (Otish Mountains, 1720 млн лет), Канада, содержат новый скиппенит Bi_2TeSe_2 , уаткинсонит $\text{Cu}_2\text{PbBi}_4(\text{Se},\text{S},\text{Te})_8$, айкинит $\text{CuPb}[\text{BiS}_3]$, поубаит $\text{PbBi}_2(\text{Se},\text{Te},\text{S})_4$, соучекит $\text{PbCuBi}(\text{S},\text{Se})_3$, виттехенит $\text{Cu}_3[\text{BiS}_3]$, самородный Bi.

В кварцевых жилах среди джеспилитов Пассажем де Мариана (Passagem de Mariana, PR₁) в Бразилии установлены: самородный Bi, козалиит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$, мальдонит Au_2Bi , висмутин, теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$, неназванный теллуридо-сульфид Bi. Подобное минеральное изобилие характерно и для джеспилитов Айрон Монак (Iron Monarch, 1810–1945 млн лет), Южная Австралия. Здесь присутствуют духамелит $(\text{Pb},\text{Bi},\text{Ca})\text{Cu}(\text{VO}_4)(\text{OH},\text{O})$, бейерит $(\text{Ca},\text{Pb})\text{Bi}_2(\text{CO}_3)_2\text{O}_2$, бисмоклит BiOCl , новый францисит $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$, висмутин, богдановичит AgBiSe_2 , клинобисванит $\text{Bi}(\text{VO}_4)$, гуанахуатит Bi_2Se_3 , виттехенит $\text{Cu}_3[\text{BiS}_3]$, джонассонит $\text{Au}(\text{Bi},\text{Pb})_5\text{S}_4$, намибит $\text{Cu}(\text{BiO})_2(\text{VO}_4)(\text{OH})$. Кварцевые жилы Омай (Omai, 2 млрд лет), Гайана, включают самородный Bi, теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$, волинскит $[\text{AgBiTe}_2]$.

Самое крупное месторождение золота Финляндии – Суурикуусикко (Suurikuusikko, 150 т Au, 1,9–1,85 млрд лет). В его альбитизированных средних-основных вулканитах встречены Bi, мальдонит Au_2Bi .

3. Рифей. Эрнст Генри (Ernest Henry), штат Квинсленд, Австралия, – Fe-окисдно–Cu–Au месторождение рудного района Маунт Айза (Mount Isa, 1,5–1,6 млрд лет). В метавулканитах с магнетитом, халькопиритом ассоциируют Bi, висмутин. Разнообразен комплекс минералов Bi Йоко-Довыренского (Байкальского, 740 млн лет) Cu–Ni объекта на севере Бурятии: самородный Bi, котульскит $\text{Pb}(\text{Te},\text{Bi})_{1-2}$, лайтакарит $\text{Bi}_4(\text{Se},\text{S})_3$, масловит PtBiTe , мончеит $(\text{Pt},\text{Pd})(\text{Te},\text{Bi})_2$. Cu–Ni–PGE руды Абу Свайель (Abu Swayel), Египет, содержат жозеит Bi_4TeS_2 , лимонит, макиноит $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$, малахит, мелонит NiTe_2 , меренскиит $(\text{Pd},\text{Pt})(\text{Te},\text{Bi})_2$, майченерит PdTeBi , паркерит $\text{Ni}_3\text{Bi}_2\text{S}_2$. В Ni–Cu залежах Вуасейс Бэй (Voisey's Bay, 1,32 млрд лет), Канада, определены Bi, фрудит PdB_2 , майченерит PdB_2Te , волинскит $[\text{AgBiTe}_2]$.

Самородный Bi, бисмоклит BiOCl , висмутин, теллуrowисмутин описаны в гематитовых рудах Fe-окисдно–Cu–Au–U–REE месторождения Олимпик

Дам (Olympic Dam, 1,6–1,0 млрд лет), Южная Австралия. U руды Уайтс (White's, 1645±45 млн лет) рудного поля Рам Джангл (Rum Jungle), Северная Австралия, содержат самородный Bi, айкинит $\text{CuPb}[\text{BiS}_3]$. Bi, висмутин Bi_2S_3 , виттехенит $\text{Cu}_3[\text{BiS}_3]$, обнаружены в метаморфизованных Fe–Mn залежах среди скарнов и пегматитов Лонгбан (Långban), Швеция.

Самородный Bi присутствует в Cu–Au метасоматитах Дон Марио (Don Mario, 1,0–0,8 млрд лет), Боливия. Он же описан в кварцевых жилах Калима (Kalima, 1020 – 990 млн лет), Заир. Bi и висмутин открыты в жилах: Ag–U–Bi кварц–карбонатных канадского Контакт Лэйк (Contact Lake, 1445±20 млрд лет); Mo – W лейкократовых (кварц + полевой шпат) норвежского Орсдален (Ørdsalen, 0,93 млрд лет, Re–Os). Эвдиалитовые и эгирин-арфведсонитовые с криолитом жильные тела Ивигут (Ivigut, 1170–1160 млн лет), Гренландия, включают, помимо названных, аркубисит $\text{Ag}_6\text{CuBiS}_4$, эскимойт $\text{Ag}_7\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{15}\text{S}_{36}$, густавит $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$, викингит $\text{Ag}_5\text{Pb}_8\text{Bi}_{13}\text{S}_{30}$, айкинит $\text{CuPb}[\text{BiS}_3]$. Висмутин присутствует в Sn–Cu с богатым In штокверках и жилах Тошам (Tosham), Индия. Пегматиты Тип Топ (Tip Top), Южная Дакота, США, – типовое местонахождение для новых минералов Be (пахасапаит $\text{Li}_8(\text{Ca},\text{Li},\text{K})_{10,5}\text{Be}_{24}(\text{PO}_4)_{24}\cdot 38\text{H}_2\text{O}$, типтопит $\text{K}_2(\text{Na},\text{Ca})_2\text{Li}_3\text{Be}_6(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ и др.). В богатой ассоциации есть и самородный Bi. Пегматиты Буранга (Buranga, 700 млн. лет), Руанда, содержат дополнительно висмутин и висмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. В Li–Be пегматитах Урукум (Urucum, 582 ± 2 млн лет), Бразилия, выявлены Bi, висмутин.

Cu–Zn Джебаль Саид (Jabal Sayid), Саудовская Аравия, относят к типу вулканогенных массивных сульфидов (VMS, 0,8 млрд лет). В рудах найдены Bi и волинскит $[\text{AgBiTe}_2]$.

4. Ранний палеозой. Au–Cu Кофер (Cofer), США, содержит в линзах сульфидов (древней O₃) среди метавулканитов формации Чаповамсик (Chopawamsic) с Bi козалиит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$, кобеллит $\text{Pb}_{13}(\text{Bi},\text{Sb})_8\text{Sb}_5\text{S}_{32}$. Панафриканская гранитизация (PR₃–C₁) оставила в Африке и Аравии множество рудных объектов. Среди них Блейда (Bleida) в Марокко, Cu руды которого содержат самородный Bi, висмутин. Последний обнаружен и в W жильном Байд аль Джимала (Baid al Jimalah, C₁), Саудовская Аравия. В Li–Be–Cs пегматитах Рубикон (Rubikon, 500 млн лет), Намибия, описаны бисмит Bi_2O_3 , бисмоклит BiOCl , Bi, висмутин, клинобисванит $\text{Bi}(\text{VO}_4)$, пухерит BiVO_4 , вейлендит $\text{BiAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$. Li–Cs–Ta пегматиты Антандрокомби (Antandrokomby), Мадагаскар, отмечены клинобисванитом $\text{Bi}(\text{VO}_4)$, самородным Bi. Там же в пегматитах Тсараманга (Tsaramanga, 570–540 млн лет) открыты бисмит Bi_2O_3 , висмутин, бисмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, пухерит BiVO_4 . В ордовикских Li–Cs–Ta пегматитах Индепенденсия (Independencia), Аргентина, встречен свободный Bi. Пегматиты Маунт Мэдисон (Mt Madison, PZ₁), Земля Виктории, Антарктида, содержат в

списке минералов висмутинов. Bi , висмутин, висмутотанталит $\text{Bi}(\text{Ta}, \text{Nb})\text{O}_4$ определены в пегматитах Муяне (Muyane, 0,53–0,48 млрд лет), Мозамбик.

Cu-Pb-Zn , с Ge руды Кипуши (Kipushi), Заир, в минеральной ассоциации содержат висмут, висмутин, козалит $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$.

Кварцевые жилы и грейзены с W месторождения Кэррок (Carrack, 399±6 млн лет), Англия, богаты минералами Bi . Помимо собственно самородного элемента присутствуют: бисмит Bi_2O_3 , висмутин Bi_2S_3 , висмутит (бисмутит) $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, хедлейит Bi_7Te_3 , ингодит Bi_2TeS , крупкаит $\text{PbCuBi}_3\text{S}_6$, петитджанит $\text{Bi}_3\text{O}(\text{OH})(\text{PO}_4)_2$, прайзингерит $\text{Bi}_3(\text{AsO}_4)_2\text{O}(\text{OH})$, рузвельтит $\text{Bi}(\text{AsO}_4)$, тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$.

На о. Южный Новой Зеландии в пластине базитов и ультрабазитов комплекса Такака и Кобб (Takaka and Cobb, C_2) зафиксирован висмутин. Там же Bi открыт в Au -кварцевых жилах Рифтон (Reefton, $\text{S}-\text{D}$). Он встречен в залежах: Zn-Pb-Cu SEDEX Блейк-вассли (Bleikvassli); пирит– Zn-Pb Флёттум (Fløttum), Норвегия. Содержит висмутин Cu-Mo порфиоровое Бозшакольское под Павлодаром, Казахстан.

5. Средний палеозой (D_2-C_1). В трубчатых U-Bi-Mo гранатитах Уипстэк (Whipstick, D_{1-2}), Австралия, наблюдались Bi , висмутин, жозеит $\text{Bi}_{(4+x)}\text{Te}_{(1-x)}\text{S}_2$, тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$. В рудах 1–2 % Bi . Кварцевые Sn-W жилы Россарден (Rossarden, D_3-C_1), Тасмания, обогащены Bi , висмутином, матильдитом AgBiS_2 . Bi и висмутин входят в ассоциацию и соседнего Sn-Pb-Zn объекта Маунт Бишоф (Mount Bischoff, D_3-C_1).

Раммельсберг (Rammelsberg, Cu-Zn-Pb-Ba , D_3-C_1), Германия, относят к промежуточному типу между SEDEX и Куроко. В рудах – Bi , висмутин, эмплектит CuBiS_2 , галенобисмутит $\text{PbBi}_{12}\text{S}_4$, кобеллит $\text{Pb}_{13}(\text{Bi}, \text{Sb})_8\text{Sb}_5\text{S}_{32}$.

Отрабатываемые на коллекционные образцы редких фосфатов пегматиты Палермо N1 (Palermo N1, D_3-C_1), Нью Гемпшир, США, известны самородным Bi , висмутином. В руды Ля Бисмутина (La Bismutina, D_2-C), Аргентина, отмечены находками висмутина и вторичного бисмутита $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. Висмутин и Bi открыты в W рудах Грей Ривер (Grey River, D_3), Ньюфаундленд. Они же присутствуют и в As-Sb-Bi-Au жилах Баогуту (Baogutu, As-Sb-Bi-Au , C_1), Китай. В крупнейшем Ag-Zn-Cu Невес Корву (Neves-Corvo, D_3-C_1), Португалия, есть висмутин, как и в Cu-Mo-Au порфиоровом Биргильдинском (D_3-C_1) под Челябинском, Au-Cu Хоуп Брук (Hope Brook, Au-Cu , D_3), Канада.

Cu-Pb-Zn колчеданы Абыза под Карагандой ($\text{D}?$) содержит в рудах айкинит $\text{CuPb[BiS}_3]$, теллуrowисмутит, тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$.

Жильное в девонских гнейсах Габе Готтес (Gabe Gottes, Cu-Pb-Zn-Ag , C), Франция, отмечено находками Bi , висмутина, айкинита $\text{CuPb[BiS}_3]$, козалита $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_3$, эмплектита CuBiS_2 , матильдита AgBiS_2 , арамайонита $\text{Ag}_3\text{Sb}_2(\text{Sb}, \text{Bi})\text{S}_6$, витехенита $\text{Cu}_3[\text{BiS}_3]$,

6. Поздний палеозой – средний триас ($\text{C}_2 - \text{T}_2$).

Bi , витехенит $\text{Cu}_3[\text{BiS}_3]$ присутствуют в слюдяных пегматитах Энон Чёрч (Enon Church, C_2), США. В пегматитах Малханского поля Забайкалья описаны Bi , висмутин, бисмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$. Bi открыт в пегматитах Дара-и-Пиоз (Be-TR-Nb , C_2-P), Таджикистан. Скарны Англяд (Anglade, W , C), Франция, содержат Bi , висмутин, тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$. Висмутин, висмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$ есть в скарнах Биггенден (Biggenden), Австралия. Скарны Восточного Коунрада (Mo-W , 310 млн лет), Казахстан, – с Bi и висмутином. Там же распространены пермские Bi-W-Mo скарны и грейзены типов: Караоба, Верхнее Кайракты (Bi и висмутин), Акчатау (айкинит $\text{CuPb[BiS}_3]$, Bi , висмутин, пекоит $\text{PbCuBi}_{11}(\text{S}, \text{Se})_{18}$ и т. д.). В орогенном Au Танджияньшань (Tanjianshan, $\text{PZ}_{1,3}$), Китай, отмечен Bi , в Лаозуошань (Laozuoshan, Au , 256 млн лет и 105 млн лет) – Bi , висмутин Bi_2S_3 , жозеит Bi_4TeS_2 ,

Bi , висмутин Bi_2S_3 , матильдит AgBiS_2 , павонит $[(\text{Ag}, \text{Cu})(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{S}_5]$ встречаются в Sn-W рудах Панашкейра (Panasqueira), Португалия. Аргентинское Сан Хорхе (San Jorge, Cu-Mo) известно находками Bi , висмутина, теллуrowисмутита Bi_2Te_3 . Bi , висмутин и др. – неперменные компоненты Mo-W-Cu порфиоровых руд Мышков (Myszków, 300–296 млн лет), Польша. Найдены минералы Bi в Au рудах Салсинь (Salsigne, Au , C_2), Франция, Кочкарского (C_{2-3}) под Челябинском.

$\text{Ag-Pb-U-Cu-Bi-Zn-F}$ залежи Адрасман (P_3-T), Таджикистан, включают айкинит $\text{CuPb[BiS}_3]$, аляскаит (смесь густавита $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$, павонита $[(\text{Ag}, \text{Cu})(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{S}_5]$, сфалерита, тетраэдрита). Жозеит Bi_4TeS_2 , джуноит $\text{Pb}_3\text{Cu}_2\text{Bi}_8(\text{S}, \text{Se})_{16}$, мальдонит Au_2Bi , висмутин определены в Коч Булак (Au-Te-Bi , P), Узбекистан. Bi , висмутин, хедлейит Bi_7Te_3 , павонит $[(\text{Ag}, \text{Cu})(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{S}_5]$, пильзенит Bi_4Te_3 , тетрависмутин Bi_2Te_3 , тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ входят в парастерезис Мурунтау.

Упомянем также сидерититы с висмутином Эрцберг (Erzberg, D_3-P) в Австрии и Тесореро (Tesorego, T) в Испании, эпигенетические Cu руды Балликуммиск (Ballycumisk, 280 млн лет), Ирландия. Вертикальная $\text{Ba-(F-Pb-Zn-As-Ni-Ag)}$ залежь Атревиды (Atrevida, T), Испания, включает Bi , висмутин, теллуrowисмутит Bi_2Te_3 .

7. Верхний триас – юра ($\text{T}_3 - \text{J}$).

Киммерийские Bi объекты представлены: 1 – SEDEX аккумуляциями. Таков $\text{Fe-Co-Ni-Bi-Au-Pb-Zn}$ объект Кендекеке (Kendekeke), Китай, с Bi , висмутитом $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, бисмитом Bi_2O_3 , висмутином Bi_2S_3 , жозеитом Bi_4TeS_2 , силлениом $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, теллуrowисмутитом Bi_2Te_3 ;

2 – грейзенами, скарнами. W-Sn-Bi Шерловая Гора, Забайкалье, содержит Bi , висмутин, бисмутит $(\text{BiO})_2\text{CO}_3$, новый минерал заварицит BiOF . В минеральной ассоциации Риваи (Ririvai), Нигерия, есть айкинит $\text{CuPb[BiS}_3]$, Bi , висмутин. W-Cu скарны Агылкинского, Якутия, включают густавит

AgPbBi₃S₆, Bi, висмутин. Мо–Bi–W скарны Сандон (Sangdong), Корея, – с Bi, висмутином;

3 – гидротермальными объектами. Sn–Bi–W жилы Тасна (Tasna) в Боливии отмечены Bi, бисмитом Bi₂O₃, бисмоклитом BiOCl, висмутином, бисмутином (BiO)₂CO₃, козалитом Pb₂Bi₂S₃, прайзингеритом Bi₃(AsO₄)₂O(OH), В Sn рудах Клаппа–Кампит (Klappa-Kampit), Индонезия, есть Bi, висмутин. В Au–кварцевом Баолунь (Baolun), Китай, открыты 14 минералов Bi. Подобных объектов с Au в Китае много – Сава-эрдун (Sawaya'erdun), Цюлюо (Qiuluo) и др. Они присутствуют и в Восточной Сибири (Мангазейское).

4 – Мо, Cu–Au порфировые. Среди них: Эндако (Endako), Кемесс Саут (Kemess South), Канада;

5 – колчеданные. Cu–Pb–Zn сульфиды Филизчай в Азербайджане обогащены Bi, висмутином и еще 7 минералами Bi;

6 – Cu–Ni–MPG в расслоенных базитах-ультрабазитах. Руды Октябрьского под Норильском отмечены самородным Bi, фрудитом PdBi₂, хедлейитом Bi₇Te₃, когальскитом Pb(Te,Bi)₁₋₂, мончеитом (Pt,Pd)(Te,Bi)₂, майченеритом PdTeBi, паркеритом Ni₃Bi₂S₂, урванцевитом Pd(Bi,Pb)₂, новыми бисмутагаухекорнитом Ni₉Bi₂S₈, масловитом PtBiTe, собольевскитом PdBi.

8. Мел. Bi-носные объекты раннеальпийского этапа относят к типам: 1 – гидротермальным. Среди них Дайин'гежуанг (Dayin'gezhuang, Au) в Китае (самородный Bi);

2 – SEDEX. Например, Pb–Zn–Ag–Sn Байнючан (Bainiuchang), Китай, с самородным Bi, кобеллитом Pb₁₃(Bi,Sb)₈Sb₅S₃₂, матильдитом AgBiS₂, висмутином Bi₂S₃, виттехенитом Cu₃[BiS₃], тинтинаитом Pb₂₂Cu⁴⁺(Sb,Bi)₃₀S₆₉;

3 – вулканогенным, плутоногенным. Cu-порфировое Андакольо (Andacollo), Чили, содержит висмутин. Измененные граниты на площади Иллинойс Крик (Illinois Creek), Аляска, отмечены Bi, висмутином. Cu руды Радка (Radka), Болгария, включают айкинит CuPb[BiS₃], буххорнит AuPb₂BiTe₂S₃, висмутин, эмплектит CuBiS₂, крупкаит PbCuBi₃S₆, михарит Cu₄FePbBiS₆, ширмерит Ag₃Pb₃Bi₉S₁₈, тетрависмутин Bi₂Te₃, тетрадимит Bi₂Te₂S, цумоит Bi₂Te₂, виттехенит Cu₃[BiS₃];

4 – скарновым. В Pb–Cu–Ag залежах Ожуэла (Ojuela), Мексика, определены Bi, висмутин, «арсенобисмит» (смесь прайзингерита Bi₃(AsO₄)₂O(OH) с примесью ателестита Bi₂(AsO₄)O(OH), бедантита Pb[Fe₃(OH)₆(AsO₄)(SO₄)], сегнитита PbFe₃³⁺(AsO₄)₂(OH,H₂O)₆, эмплектит CuBiS₂. В Sn грейзенах Солнечного, Хабаровский край, есть Bi, висмутин, хедлейит Bi₇Te₃, козалит Pb₂Bi₂S₃, жозеит-А Bi₄TeS₂, жозеит-В Bi₄Te₂S, матильдит AgBiS₂;

5 – пегматитовым. Таковы Геркулес (Hercules), США, с висмутином; Литтл Три (Little Three), там же (Bi, бисмит Bi₂O₃, висмутин);

9. Кайнозой. Эоценовые Au–Sn кварцевые жилы Де Хосейн (Deh Hosein), Иран, содержат включения

1–150 μm Bi, бисмита Bi₂O₃, висмутина Bi₂S₃. В плутоногенном Мод-Кола (Modi-Khola, N₁²), Непал, выявлены Bi, висмутин, эмплектит CuBiS₂. Дацитовые трубчатые брекчии Нагибёршони (Nagybörzsöny, N₁), Венгрия, обогащены Bi, висмутином, канницаритом Pb₄Bi₆S₁₃, каннонитом Bi₂(SO₄)O(OH)₂. Cu–Au–Ag руды Кариса (Carisa, P₃-N₁), США, содержат Bi, висмутин, миксит BiCu₆(AsO₄)₃(OH)₆·3(H₂O).

Bi обычен в порфировых месторождениях. В Мо–W Гласиэр Галч (Glacier Gulch, Мо–W), Канада, обнаружены Bi, Au, висмутин, жозеит-А Bi₄TeS₂, жозеит-В Bi₄Te₂S, матильдит AgBiS₂, тетрадимит Bi₂Te₂S. Санрайс (Sunrise, Cu–Mo), США, известно Bi, жозеитом-В Bi₄Te₂S, пекоитом PbCuBi₁₁(S,Se)₁₈, волинскитом [AgBiTe₂]. В миоценовом Ag–Au Гласиэр Пик (Glacier Peak), США, присутствует Bi.

Bi распространен в миоценовых рудных метасоматитах Японии. Ag–In–Zn–Pb объект Мирового уровня Тоёха (Toōha, 21 млн лет) содержит Bi, густавит AgPbBi₃S₆, матильдит AgBiS₂.

Миоценовые скарны Рио Марина (Rio Marina), Италия, включают бисмоклит BiOCl, самородный Bi, висмутин, бисмутит (BiO)₂CO₃, каннонит Bi₂(SO₄)O(OH)₂, козалит Pb₂Bi₂S₃, добрееит (BiO)(OH,Cl), новый риомаринаит Bi(SO₄)(OH)·H₂O.

2. Историко-минерагенические провинции с минералами висмута

Распределение минералов Bi по поверхности континентов (см. рис. 1 и 2) схоже с таковым ранее рассмотренных летучих Hg, Sb, Tl, As, но имеет и свою специфику. В отличие от мантийной Hg это преимущественно «коровый» элемент, в основном, связанный с гранитоидами. Казалось бы, максимумы его распределения должны отвечать областям гранитизации. Однако известны обширные регионы, где гранитные массивы занимают обширные площади, но проявлений Bi практически нет. Таков Урал с его Главным гранитным поясом длиной около 1,5 тыс км.

Будучи существенно менее склонным к ремобилизации, сравнительно с прочими летучими, Bi не только маркирует, но и дольше сохраняет первичные контуры экспозиции древних флюидных потоков. Их рассмотрение с историко-минерагенических позиций, по возрастам ареалов [22], предоставило возможность наблюдать развитие регматической сети глубинных разломов. Для некоторых элементов планетарного ранга установить направленность развития, его темпы. Примером назовем меридиональную полосу Великих Африканских рифтов (ВАР) протяженностью около 6 тыс км. Она фиксировалась и на схемах, составленных для прочих летучих. Однако в случае Bi особенно заметно: заложившись на крайнем юге континента в раннем протерозое, в рифее ВАР уже трассировалась на всем протяжении. Еще один замечательный элемент – раннедокембрийская «Перилавrentийская дуга» из древних проявлений

Bi, охватившая с трех сторон, кроме северной, Канадский щит. Примечательны также океанические ограничения Северной Атлантики (R – PZ) и Пацифика (MZ–KZ).

Заключение

Распространение повышенных концентраций Bi на континентах Земли во многом схоже с таковым Hg, Sb, As, Tl. Эти летучие элементы в земной коре обладают высокой подвижностью, но из-за специфических особенностей каждого (разные T^0C плавления, кипения, способность к образованию устойчивых соединений, распространенность) содержащие их рудные объекты оказались в историко-минерогенетических провинциях разных конфигураций и возрастов, подчеркивая закономерности общие и отличия частные.

Рудные объекты с Bi тяготеют к ограничениям Океанов, контурам внутриконтинентальным линейным (Великие рифты Африки) и изометричным (Центральная Азия).

Историко-минерогенетический анализ показал: протяженные, до 15 тыс км, подвижные суперпояса накапливали Bi потенциал, связанный с флюидной активностью, не одновременно. Первоначально минерализация возникала в древних «ядрах» на кратонах и, особенно, вдоль их ближней периферии.

Древние высокотемпературные рудные объекты с Bi по западному и восточному ограничениям Северной Атлантики, свидетельства мощных флюидотермальных потоков, рассматриваются как признаки более длительной (доюрской) предыстории ее формирования. Подробнее этот тезис будет обоснован в подготавливаемой монографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко А. Д. Геохимические особенности и генезис золота осадочного чехла Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев, В. В. Ильяш, В. А. Окроков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж, 1996. – № 2. – С. 86–95.
2. Савко, А. Д. Золото и редкие минералы в осадочном чехле Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев, В. В. Ильяш, Е. Н. Божко // Вестн. ВГУ. Сер.: Геология. – 1996. – № 1. – С. 133–138.
3. Висмут — Википедия [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Висмут> (Дата обращения 01.03.2016).
4. List of countries by bismuth production – America Pink [Электронный ресурс]. URL: <https://america.pink/list-countries-bismuth-production> (Дата обращения 01.03.2016).
5. Хащевская, А. А. Геохимия висмута в природных водах Западной Сибири / А. А. Хащевская: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск: Томский политехнический университет. – 2003. – 19 с.
6. Bismuth: Bismuth mineral information and data [Электронный ресурс]. URL: <https://Mindat.org/www.mindat.org/min-684.html> (Дата обращения 01.03.2016).
7. Bismuthinite: Bismuthinite mineral information and data [Электронный ресурс]. URL: Mindat.org/www.mindat.org/min-686.html (Дата обращения 01.03.2016).
8. Алексеев, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В. А. Алексеев, А. В. Алексеев. – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ. – 2013. – 388 с.
9. Kabata-Pendias, Alina. Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments / Alina Kabata-Pendias, Barbara Szteke. – CRC Press, 7 april 2015. – 468 p.
10. Element Abundances in the Earth's Mantle. The Elements Handbook ... [Электронный ресурс]. URL: https://Mindat.org/www.knowledgedoor.com/.../element_abundances (Дата обращения 01.03.2016).
11. Беус, А. А. Геохимия литосферы. Породообразующие элементы / А. А. Беус. – М.: Недра. – 1972. – 296 с.
12. Anderson, Don L. Theory of the Earth. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1989. Chapter 8. Chemical Composition of the Mantle [Электронный ресурс]. URL: <http://resolver.caltech.edu/CaltechBOOK:1989.001> (Дата обращения 01.03.2016).
13. Соловов, А. П. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров [и др.]. – М.: Недра. – 1990. – 335 с.
14. Минцер, Э. Ф. Висмут в изверженных породах / Э. Ф. Минцер, В. П. Прокопчук // Геохимия, 1987. – № 3. – С. 350–353.
15. Bi – Bismuth 85 [Электронный ресурс]. URL: <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Bi.pdf> (Дата обращения 01.03.2016).
16. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях [Электронный ресурс]. URL: <https://books.google.ru/books?isbn=5447558484> (Дата обращения 01.03.2016).
17. Виноградов, А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия, 1962. – № 7. – С. 555–571.
18. Юдович, Я. Э. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия) / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://books.google.ru/books?isbn=544755828X> (Дата обращения 01.03.2016).
19. Baturin, G. N. The Geochemistry of Manganese Nodules in the Ocean / G. N. Baturin – Science, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://books.google.ru/books?isbn=...> (Дата обращения 01.03.2016).
20. Висмут – Water.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water.ru/bz/param/bismuth.shtml> (Дата обращения 01.03.2016).
21. Mason, Bryan. Data of Geochemistry. Chapter B. Cosmochemistry / Part 1. Meteorites. – U.S. Geological Survey Professional Paper 440–B–1 / Bryan Mason. – Washington: US Government Printing House, 1979. – Sixth Edition – 132 p.
22. Историческая минералогия. Т. 3. Историческая минералогия подвижных суперпоясов : в 3-х т. [Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев]. – Воронеж: Изд-во ВГУ. – 2008. – 622 с.

Воронежский государственный университет

Шевырëв Леонид Тихонович, ведущий научный сотрудник
НИИ Геологии ВГУ, доктор геолого-минералогических наук
E-mail: shevpp@yandex.ru
Тел.: 8 (473) 235-39-42

Voronezh State University

Shevryev L. T., leading scientific Associate of the VSU Institute of Geology, doctor of the Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: shevpp@yandex.ru; Tel.: 8 (473) 235-39-42