

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЛЕТУЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ В
ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗЕМЛИ: ВЕРОЯТНАЯ
ИСТОРИКО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**
Статья 3. Таллий.**Л. Т. Шевырёв****Воронежский государственный университет**

Поступила в редакцию 1 ноября 2014 г.

Аннотация: повышенные концентрации летучих элементов (HG, SB, AS, TLBI) 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. Настоящая статья продолжает изложение результатов историко-минерагенического анализа применительно к ТЛносным объектам. В отличие от аккумуляций ртути, которым автор, указав соответствующую аргументацию, приписывал [1] мезо-кайнозойский возраст, месторождения ТЛ более гетерохронны, менее глубинные. За рубежом они становятся объектами интенсивных поисков из-за важности ТЛ для «новой» высокотехнологичной экономики. В результате усилий геологов открыты новые богатые собственно ТЛпромышленные объекты – Ланьмучань (LANMUCHANG)янькуань (XIANGQUAN)Зимудань (ZIMUDANG) в КНР, Баррейраш (BARREIRAS)над штата Баия (BAHIA)Бразилия. Ряд месторождений в связи с потерей экономической привлекательности ведущего компонента (например, мышьяковые) и высоким содержанием ТЛ, переоценены как собственно таллиевые.

Ключевые слова: историко-минерагенический анализ, стибнит, кайнозой, плюмы, делимость земной коры, месторождения ТЛ.

**REGULARITIES IN THE VOLATILE ELEMENTS DISTRIBUTION WITHIN
THE SURFICIAL ENVELOPE OF EARTH: PROBABLE HISTORICAL-MINERAGENICAL
INTERPRETATION. PAPER 3. THALLIUM.**

ABSTRACT ELEVATED CONCENTRATIONS OF THE VOLATILE ELEMENTS ARE LOCATED WITHIN THE STRUCTURAL FORMS HAVE BEEN DETERMINED THE TECTONIC BLOCKING OF THE EARTH CRUST. AREA DISTRIBUTION OCCURRENCES OF THE DISCREPANT SCALES AND AGES LET CORROBORATE (SOMETIMES DISCLOSE) POSITION PLANETARY RANK ORE-CONTROLLING STRUCTURES AS WELL AS DECIPHER THEIR FORMING CHRONOLOGICAL SEQUENCE, AND ESTIMATE DEEPNESS. THIS DESCRIPTION OF THE HISTORICAL-MINERAGENICAL ANALYSIS RESULTS THALLIUM-FERROUS OBJECTS PROCEEDS THE SERIES OF PAPERS BEING UNDERTAKEN. IN DIFFERENCE WITH TELLURIDE CUMULATIONS, WHICH ARE ALL SUPPOSED TO BE MESO(?) -CENOZOIC, THALLIUM ONES ARE HETEROCHRONOUS AND MORE AND MORE SHALLOW. NOW THESE BECOME THE OBJECTS OF INTENSE QUEST AFTER THE TL IMPORTANCE FOR "NEW" HIGH-TECH INDUSTRY ABROAD. NEW RICH PROPTER THALLIUM DEPOSITS ARE DISCLOSED AS A RESULT OF THE GEOLOGISTS EFFORTS: LANMUCHANG, XIANGQUAN, ZIMUDANG ETC. IN PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, BARREIRAS WEST OF BAHIA STATE, BRAZIL. A NUMBER OF DEPOSITS OF THE COMPONENTS UNCLAIMED AT PRESENT (ARSENIC AS AN EXAMPLE), BUT WITH HIGH TL CONTENT ARE CONSIDERED TO BE THALLIUM PROPERLY.

KEY WORDS HISTORICAL-MINERAGENICAL ANALYSES, STIBNITE, CENOZOIC, PLUMES, TECTONIC BLOCKING OF THE EARTH CRUST, THALLIUM DEPOSITS.

Таллий – типичный «новый» металл, востребованный развитыми экономиками Мира. Его изотоп ²⁰¹Tl идет на нужды кардиодиагностики. Кристаллы KJ с пленкой металлического Tl используют в γ -радиационном оборудовании (сцинтилляметры). В фильтрах радиосвязи нашел применение Tl-Cu-Sa-Ba окисный высокотемпературный сверхпроводник (HTS), в инфракрасной оптике – линзы, призмы с Tl. Кристаллы

соединения Tl-Se-As – компонент современной акустооптической измерительной аппаратуры. Tl-Hg сплав необходим для низкотемпературных термометров. Сульфат Tl используют в составах для удаления волос, уничтожения грызунов, таллиевый малонат-формат $\text{CH}_2(\text{COOTl})_2 \cdot 2\text{HCOOTl}$ (жидкость Клеричи, плотность 4 – 4,9 г/см³) – при выделении минералов тяжелой фракции. Tl в стекле увеличивает его плот-

ность и К преломления. Он же – катализатор в органическом синтезе. В 2009–2010 гг. временное прекращение производства технеция-99 (^{99}Tc) на реакторах в Онтарио, Канада, и Нидерландах заставило заменить его изотопом ^{201}Tl в тестах сердечного напряжения, т.е. контроля поступления крови в сердечную ткань при повышенной активности человека (в 2012 г. ^{201}Tl понадобилось меньше – реактор в Онтарио возобновил работу). Спрос на таллий ожидают в области материалов «гипотетических высоких технологий и программного обеспечения» (Hypothetical Technologies & Software, HTS) – комплексах горизонтальной табуляции клавиатур ("horizontal tab set" control code), системах домашних кинотеатров, громкоговорителей и т.д. [2]. На македонском объекте **Алшар** тела с лорандитом TlAsS_2 ловят потоки космических частиц (международный эксперимент LORandite EXperiment, или LOREX). В этом минерале много изотопа ^{205}Tl , который захватывает солнечное нейтрино с появлением ^{205}Pb . Процесс $^{205}\text{Tl}(\nu_e, e^-)^{205}\text{Pb}$ идет при малой пороговой энергии 52 keV и относительно эффективен. Учитывая возраст лорандита (4,5–4,2 млн лет), выявляют параметры потока солнечных нейтрино по количеству возникшего изотопа ^{205}Pb (период полураспада 15 млн лет).

В 2011–2012 гг. в Мире производили по 10 т Tl, преимущественно в Бельгии, Великобритании, Германии, России, Франции. В Казахстане металлический Tl получает ОАО Казцинк (Усть-Каменогорск), оксид таллия – ЗАО Полиметаллы (г. Шимкент, б. Чимкент). США, при наличии множества собственных источников, отказались от производства этого крайне токсичного элемента, но наращивали его импорт в 2007–2011 гг. с 901 кг до 1750 кг. Одновременно росли и цены на соединения Tl с 4560 дол./кг (2007 г.) до 6000 дол./кг (2011 г.). Цены на металлический Tl в 2003 г. превышали \$12 за грамм (\$40/унция), чему способствовала политика Китая, ограничившего экспорт редких металлов ради внутреннего спроса. С 2005 г. экспорт Tl в Китае перестал поощряться, с 2010 г. отменена налоговая льгота для экспортеров. Более того, КНР сама стала массово скупать Tl на внешних рынках. Россия обеспечивала в 2007–2010 гг. рынок на 63 %, Германия – на 35 %, Казахстан – на 2 %. В цинковых месторождениях прогнозировали (конец 2004 г.) 17 тыс. т Tl, в углях – 630 тыс. т [3]. На месторождении **Алсар** в Македонии сохранилось около 500 т Tl в богатых рудах. Геологические ресурсы **Нанхуа** в Юньнани – 391,7 т Tl [4].

Таллий в породах, рудах и почвах

На Воронежской антеклизе ультратонкое золото в осадочном чехле обогащено Tl (до 18,914%), но также Hg, Sb, As, Bi [5, 6]. О какой глубинности и времени активности источников говорят такие сочетания элементов? Для этого стоит проследить вариации в распределении Tl в породах разных типов. При кларке для земной коры 0,7 г/т ($7 \cdot 10^{-5}\%$) Tl больше в гранитном слое (1,5 г/т или $1,5 \cdot 10^{-4}\%$), в базальтоидах его меньше (0,2 г/т, или $2 \cdot 10^{-5}\%$), в гипербазитах

только 0,01 г/т, или $1 \cdot 10^{-6}\%$ [7]. В свежих работах зарубежных исследователей озвучивают иные цифры: общее содержание Tl в земной коре только 0,45 г/т. Это выше показателей для Hg (0,08 г/т), Ag (0,07 г/т), Cd (0,2 г/т), Au (0,004 г/т). В ультрамафитах (всюду, г/т Tl) – 0,05–0,06; базитах – 0,1–0,21; средних породах – 0,15–0,55; риолитах (высоко-Ca) – 0,72; то же (низко-Ca) – 2,3 до 3,2; сиенитах – 0,3–1,4; щелочных породах – 1,2. В кимберлитах поля Кимберли ЮАР – 0,22 г/т Tl, при этом его во флогопите – 0,78 г/т, оливине – 0,016 г/т, гранате – 0,095 г/т. [8]. Для метаморфитов значения близки (г/т): филлиты штата Нью-Йорк и Швейцарских Альп – 0,56–0,8; кристаллосланцы Саян – 2; то же, кварц-серицитовые Майкаин, Казахстан – 0,16; то же, гранатовые, штат Нью-Йорк, – 0,61–1,3; то же, слюдяные Швейцарских Альп, Франции, Намибии – 0,74; Al-Si породы Канады (аспидные и кристаллосланцы) – 0,48; гнейсы о. Оки в Японии, Швейцарии, Германии, Австрии, Норвегии, Гайаны – 0,6–0,9; диоритовые гнейсы Олбани в Вайоминге – 0,42; гранатовые гнейсы Северного Исортго (N. Isortog), Гренландия, – 0,25; амфиболиты Импилахти, Карелия, – 0,4; эклогиты Кимберли, ЮАР, – 0,56; гранулиты, чарнокиты (салические) Норвегии, Танзании, Индии, Гайаны, Канады – 0,38; гранулиты, чарнокиты (умеренные средние) Австрии, Танзании, Индии, США, Гайаны – 0,08. А вот значения для осадочных толщ разных континентов (г/т): песчаники Финляндии – 1,3; то же Франции, Германии – 0,21; алевролиты Кавказа – 0,68; то же, Ю. Гуйджоу, КНР – 0,68–1,55; граувакки С. Америки – 0,13–0,21; то же, Германии и Франции – 0,205; глины США, б. СССР, Финляндии – 0,24–0,70; то же, морская яшма, б. СССР – 2,0–3,0; глина песчаная, там же – 1,0–1,6; аргиллиты, Мичиган, – 1,4; аспидный сланец, Нью-Йорк, – 0,81; глинистый сланец, Германия, Франция, Португалия, – 0,68; то же, черный, Германия – 2,54; то же, серый, Германия, Испания, Польша, – 0,84; антракосилит (черный кристаллический кальцит), Онтарио, – 2,8; глинистый известняк, Кавказ, – 0,7; то же, Германия, США, – 0,195 %; лёсс, Иллинойс, США, – 0,31; известковистые породы, Канадский щит, – 0,1; известняк, Германия, Франция, – 0,05; то же, Гиссарский хребет, – 0,44–0,63; то же, ЮЗ Гуйчжоу – 0,5–0,7; доломиты Ленгенбах (Lengenbach), Швейцария – 0,45.

В пелагических глинах Атлантики (Tl, г/т) – 1,07; то же, Тихий океан – 0,96, 1,03; известковистые илы Атлантики – 0,43; то же, Тихий океан – 0,15; Fe-Mn илы Тихого океана – 0,3; отложения хребтов и их подножий в Атлантике – 0,5; Mn нодулы Атлантики – 140; Fe-Mn нодулы Пафифика – 123; то же Атлантики – 106; то же Индийского океана – 82.

В породах верхней континентальной коры 0,749 г/т Tl, нижней континентальной коры – 0,232 г/т Tl, в среднем, для континентальной коры – 0,491 г/т Tl, в верхней мантии – 0,011 г/т Tl [9].

В сульфидах Tl замещает Cu, Ag, As, в алюмосиликатах и хлоридах – K, Rb, имеющие близкие ионные радиусы. Оттого Tl выявляют в соляных толщах

и минеральных водах.

В лепидолите $K_2Li_{1,5}Al_{1,5}[Si_3AlO_{10}][F, OH]_2$ и цинвальдиде $KLiFeAl[Si_3AlO_{10}][F, OH]_2$ 10–1000 г/т Тl, в поллуците $(Cs, Na)[AlSi_2O_6]$ его 100 г/т [7]. В почвах 0,1 г/т Тl, воде Океана – 0,01 мг/т ($10^{-9}\%$), углях – 10–100 г/т Тl. В цинковых месторождениях прогнозировали (конец 2004 г.) 17 тыс. т Тl, в углях – 630 тыс. т [3]. Xiao Tangfu [9] в докторской диссертации отметил, что в незараженных почвах имеется только 0,01–0,03 г/т Тl, в «больных» может быть и 1 г/т металла (в Верхней Австрии на калишпатовых породах еще больше). При этом, не существует значительной корреляции между рН, глинистостью, содержаниями гумуса и Тl. Для почв Южного Китая обнаружены положительные связи между Тl и органическим веществом. Больше элемента в корках выветривания по известнякам.

Высокие концентрации Тl типичны для некоторых растений. Плешатка, или двушитка гладкая, *Biscutella laevigata* (розиды) и *Iberis intermedia* (капустные, Brassicaceae) из Ле Малинэ (Les Malines) Южной Франции содержат до 1,4 % Тl и до 0,4 % Тl соответственно. Посадки зеленой капусты и рапса ликвидируют крайне опасное для Тl заражение почв, накапливая его в себе. Расчеты показывают, фитометаллургия – извлечение таллия из золы *Iberis* – может быть рентабельной [10]. Сверхконцентратор Тl – свекла обыкновенная (*Beta vulgaris* L.). Элемент обнаруживают даже, когда свекла растет на почвах, в которых самые современные методы его не открывают. То же установлено для полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.). Таллием несколько обогащены вика, овес, ячмень, просо, малина, земляника лесная, рябина, ежевика, крапива, яснотка. «По химическому поведению в растительном организме Тl близок к калию и является его конкурентом за связывание с серосодержащими группами, при повышенных концентрациях таллий приводит к нарушению активности ферментных систем, процессов дыхания и фотосинтеза» [11].

Вред Тl здоровью человека проявляется в быстрой алопеции (облысении), нейро- и гастроэнтеральных [9], полной слепоте.

Сильное обогащение Тl происходит при калиевом метасоматозе, в зонах разломов. При метаморфизме Тl не уходит из пород. Так, в зоне наивысших термических изменений Базеля (Швейцария) Тl столько же, сколько и в первичных породах, неизмененных глинистых сланцах. Обогащение Тl сопровождается ростом концентраций As, Sb, Ag. Значение имеет сорбция элемента сульфидными гелями, тогда как изоморфизм играет второстепенную роль. Тl много больше в сфалерите, но не в галените. Минералы, вырастающие в колломорфной среде, чаще обогащены Тl.

Поисковое значение имеет особенность: при выветривании Тl остается на месте, отчего могут появиться его значительные концентрации. При изменении калиевых щелочных пород он «уходит», переносится вместе со щелочными металлами, в обогащенных Fe, Mn осадочных образованиях – накапливается.

Тl исчезает из окисленных сульфидных руд и сильно окисленных минералов [9]. Средние содержания Тl в почвах – 0,02–2,6 г/т [12].

О возрасте природных аккумуляций таллия

До войны были известны лишь три местонахождения минералов Тl: **Алшар** (Alšar) в Македонии, **Ленгенбах** (Lengenbach) в долине Бинн (Binntal), Швейцария, и **Стрикерум** (Skrikerum) в Швеции. Природных соединений Тl знали немного. В работе [7, с. 232] их насчитали 7. Экономический интерес к элементу вызвал и минералогический бум: число зарегистрированных в CNMMN минералов Тl возросло до 52. Из них только 7 не содержат серу.

Приведем этот небольшой список полностью, с английским написанием (без него работать с иностранными источниками читателю затруднительно): авиценнит (avicennite) Tl_2O_3 , бернардит (bernardite) $Tl(Sb, As)_5S_5$, боскардинит (boscardinite) $TlPb_4(Sb_7As_2)S_{18}$, буковит (bukovite) $Tl(Cu, Fe)_2Se_2$, валлисит (wallisite) $TlPbCu(As_2S_5)$, воганит (vaughanite) $TlHgSb_4S_7$, вейсбергит (weissbergite) $TlSbS_2$, врбаит (vrbaite) $Tl_4Hg_3Sb_2As_8S_{20}$, галхаит (galkhaite) $(Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn)_6(As, Sb)_4S_{12}$, гиллулуит (gillulyite) $Tl_2(As, Sb)_8S_{13}$, гутчинсонит (hutchinsonite) $(Pb, Tl)S \cdot Ag_2S \cdot 5As_2S_5$, дальнегроит (dalnegroite) $Tl_5 \cdot xPb_{2x}(As, Sb)_{21-x}S_{34}$, джентчит (jentschite) $PbTlAs_2SbS_6$, доралшарит (dorallcharite) $(Tl, K)Fe^{+3}(SO_4)_2(OH)_6$, дюфренуазит (dufrenoyite) $(Pb, Tl)As_5S_5$, имхофит (imhofite) $Tl_6CuAs_{16}S_{40}$, карлинит (carlinitite) Tl_2S , криддлеит (criddleite) $TlAg_2Au_3Sb_{10}S_{10}$, кристит (christite) $TlHgAsS_3$, крукесит (crookesite) $Cu_7(Tl, Ag)Se_4$, купростибит (cuprostibite) $Cu_2(Sb, Tl)$, ланьмучанит (lanmuchangite) $TlAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, лафоссаит (lafossaite) $Tl(Cl, Br)$, лорандит (lorandite) $TlAs_2S$, монсмитит (monsmedite) $(HgK_2Tl_2(SO_4)_8 \cdot 11H_2O)$, парапьерротит (parapierrrotite) $Tl(Sb, As)_5S$, перлиалит (perliialite) $(K_8TlAl_{12}Si_{24}O_{72} \cdot 20H_2O)$, пикопалит (picotpaulite) $TlFe_2O_3$, пьерротит (pierrrotite) $TlSb_5S_8$, рагинит (raguinite) $TlFeS_2$, райит (rayite) $Pb_8(Ag, Tl)_2Sb_8S_{21}$, ратит (rathite) $Pb_8(Ag, Tl)_2Sb_8S_{21}$, ребулит (rebulite) $Tl_5Sb_5As_8S_{22}$, рохаит (rohaite) $TlCu_5SbS_2$, рутьеит (routhierite) $TlHgAsS_3$, сабатыерит (sabatierite) (Cu_6TlSe_4) , симонит (simonite) $TlHgAs_3S_6$, склероклаз Scleroclase $(Pb, Tl)As_2S_4$, сталдерит (stalderite) $TlCu(Zn, Fe, Hg)_2As_2S_6$, талкусит Thalcusite $TlCu_3FeS_4$, таллий (Thallium) Тl, талфенисит (thalfenisite) $Tl_6(Fe, Ni, Cu)_{25}S_{26}Cl$, фангит (fangite) (Tl_3As_4) , халькоталлит (chalcothallite) Cu_3TlS_2 , хатчит (hatchite) $AgPbTlAs_2S_5$, хатчинсонит (hutchinsonite) $PbTlAs_5S_9$, шабурнеит (chabourneite) $(Tl, Pb)_5(Sb, As)_{21}S_{34}$, шпальтиит (? spaltiite) $Tl_2Cu_2As_2S_5$, эденхартерит (edenharterite) $Pb_{1,00}Tl_{1,03}As_{2,99}S_{5,98}$, эллисит (ellisite) Tl_3AsS_3 , эрниглиит (erniggliite) $Tl_2SnAs_2S_6$, янковичит (jankovičite) $(Tl_5Sb_9(As, Sb)_4)S_{22}$.

Шпальтиит в отечественной литературе не упоминают вовсе, отчего его кириллическое написание приведено в авторском варианте. Воганит (vaughanite) $TlHgSb_4S_7$ оказался синонимом известного триморфа $CaCO_3$ (кальцит-арагонит-воганит).

В Чехии Se-содержащие месторождения **Буков** (Bukov), **Петровице** (Petrovice), **Предгрице** (Predborice) дали науке новые буковит и сабатьерит. В Неваде, США, четыре новых минерала Tl открыли в месторождениях ультратонкого золота типа **Карлин** (карлинит, вейсбергит, гиллулуит, фенгит). Богатейшая ассоциация минералов Tl оказалась в загадочном по генезису архейском месторождении **Хемло**, Онтарио, Канада (новые криддлеит и ваугханит, воганит, а также парапьеротит, рутьерит). Позже криддлеит открыли в золотом месторождении **Виже** (Viges), Франция. Cu-Ni-PMG объекты Норильска (рудник Маяк **Талнахского** месторождения) в 1976 г. пополнили список минералов Tl талкуситом (позднее установлен в массиве **Илемуассак** Гренландии, новая фаза с названием талфенисит [13, 14], в чароититах **Мурунского** массива Забайкальского края, пров. Катамарка Аргентины). В Индии на Pb-Zn месторождении **Раджпура Дариба** встречен райит. Далее следовали от-

крытия Tl фаз в месторождениях Pb-Zn и Au **Уислок Рамблер** (Wiesloch Rambler) США и т.д.

Известное с 1822 г. в Высоких Альпах Франции Cu месторождение **Жа Руз** (Jas Roux) после ревизионных работ дало новые рутьеит, шабурнеит, лаффинит, пьерротит. В ассоциацию вошло также множество ранее открытых видов. Ныне этот объект в национальном парке Пельвуз (Pelvoux) не доступен ученым. Подвергаются аресту любители минералов и на площади **Алсар** в Македонии, которую считают национальным достоянием. Знакомиться с отвалами там позволительно только под патронажем университета им Кирилла и Мефодия в Скопье.

Tl минерализация датирована в разных регионах от раннего докембрия до плиоцена, рис. 1. Изложенная ниже аргументация положена в основу отнесения конкретных площадей к разновозрастным историко-минерагеническим провинциям (ИМП).

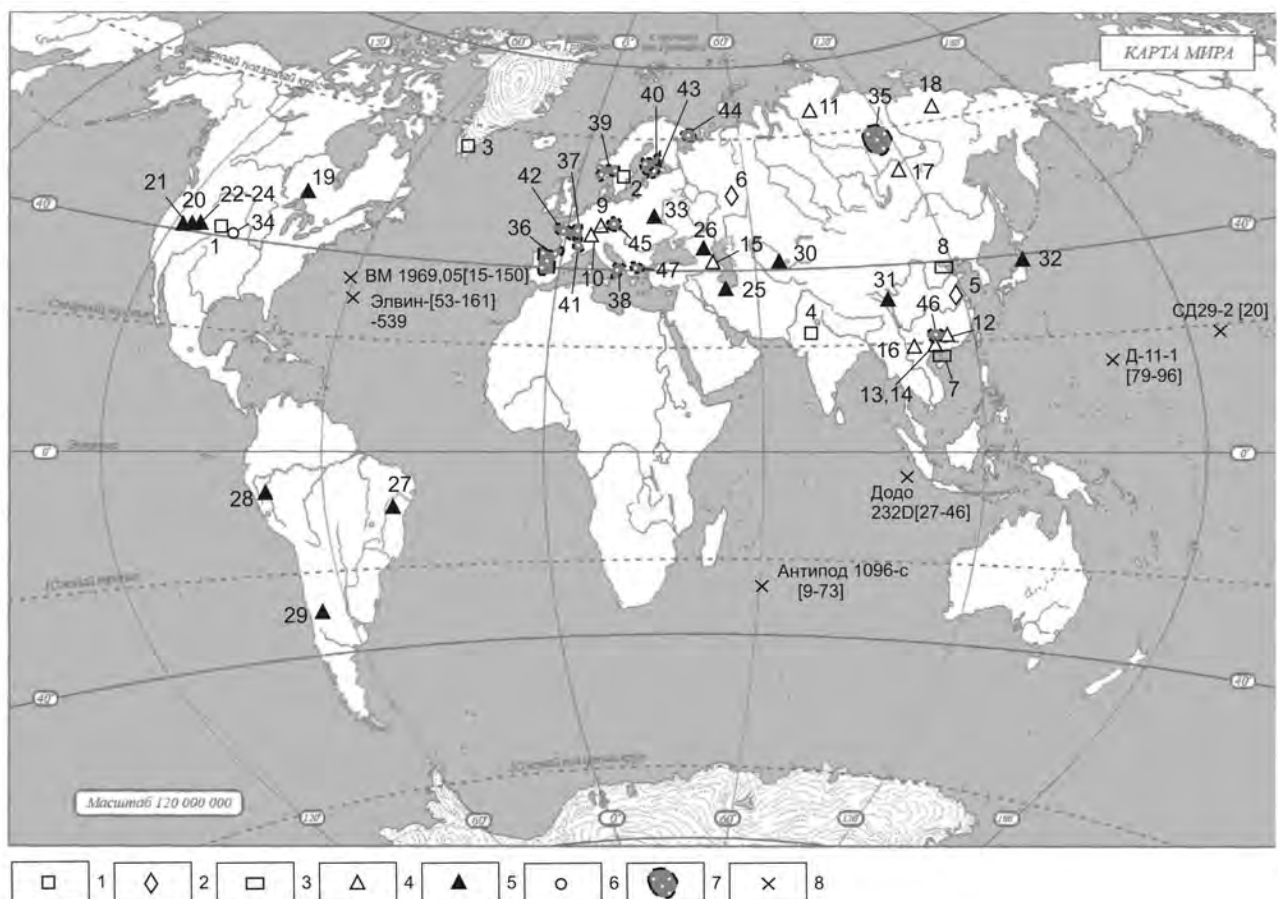


Рис. 1. Таллий – геологические возрасты местонахождений минералов и контрастные геохимические аномалии на континентах Земли. I-VI – местонахождения минералов, в т. ч.: 1 – **Нью Рамблер** (New Rambler), юго-восток штата Вайоминг, 1,8 млрд лет; 2 – **Стрикерум** (Skrikerum), юго-восток Швеции; 3 – **Илемуассак** (*Pimaussaqa*) – щелочной комплекс, юго-запад Гренландии; 4 – **Раджпура-Дариба** (Radjpura Dariba), Индия; II – раннепалеозойские: 5 – **Сянькуань** (Xiangquan), пров. Аньхой, КНР; 6 – **Гайское**, Оренбургская область. D₃-C₁. III – позднепалеозойские: 7 – **Ланьмучань** (Lanmichang), пров. Гуйчжоу, КНР; 8 – **Таншань** (Tangshan), пров. Хэбэй, КНР. Позднепалеозойский (пермокарбон) каменный уголь. 1,37 г/т Tl; IV – мезозойские: 9 – **Ленгенбах** (Lengenbach Quarry), Швейцария. Триас; 10 – **Жа Руз** (Jas Roux), деп. Высокие Альпы, Франция. Триас; 11 – **Талнах**, у Норильска. Финальные стадии T₁, домагматическая рудоподготовка – с протерозоя; 12 – **Миншань** (Mingshan, АО Гуанси-Джуань, КНР. J₁; 13 – **Яньшань** (Yanshan, Shuiyindong), пров. Гуйджоу, КНР. J₁; 14 – **Зимудань** (Zimudang), пров. Гуйчжоу, КНР. J₁; 15 – **Квайсинские** Pb-Zn, Южная Осетия. J₃; 16 – **Нанхуа** (Nanhua), пров. Юньнань, КНР. J₃; 17 – **Сиреневый Камень**, Олекминский улус, Якутия. K₁; 18 – **Гал-Хая**, СВ Якутия. K_{1a}-K₂; V – кайнозойские, в т.ч.: 19 – **Хемло** (Nemlo), СЗ пров. Онтарио, Канада. Архейское, реювенировано в кайнозое (?); 20 – месторождения трендов **Карлин** (Carlin),

Невада, 42–36 млн лет; 21 – месторождения тренда **Гетчел** (Getchell), Невада, 42–36 млн лет; 22 – **Меркур** (Mercur Mine), штат Юта, 31,5 млн лет; 23 – **Таллиевый Участок** (Thallium Prospect), Юта, олигоцен (?); 24 – **Лулу** (Lulu cut, South Mercur Pit), штат Юта, олигоцен (?); 25 – **Заршуран** (Zarshuran), СЗ Иран, 27–14 млн лет; 26 – **Гремучка**, Пятигорск, Ставропольский край, 25 млн лет; 27 – **Баррейраш** (Barreiras), запад штата Баия, Бразилия, кайнозой (?); 28 – **Кирувилка** (Quiruvilca), Перу, средний миоцен; 29 – **Туминьико** (Tumíñico Mine), пров. Ля Риоха, Аргентина, 23–2,6 млн лет; 30 – **Джузумли**, Самаркандская область, Узбекистан, Кайнозой (?); 31 – **Силс** (Sils ditch), Тибет, КНР, Кайнозой (?); 32 – **Косака** (Kosaka), преф. Акита (Akita), Япония; 33 – **Нижний Бык**, Воробьевский район, Воронежская область. Ультратонкое высокоталлиевое золото сумской свиты палеоцена (18,914 % Тl). Тоже в отложениях киевской свиты эоцена в Сергеевке, Белгородская область (6,245 % Тl) и др. [6, с. 44]. VI – объекты не вполне определенного возраста: 34 – **Рамблер** (Rambler Mine), Вайоминг, докембрий (?); VII–VIII – обширные геохимические аномалии с Тl, в т.ч.: VII – связанные с почвенным слоем, включая: 35 – притоки Вилноя, от г. Айхал на севере до Мирного и Нюрбы на юге [15]; 36 – север Португалии, запад и центр Испании (кристаллический фундамент Иберийского массива); 37 – Морван (Morvan, северное продолжение Центрального Французского массива в Бургундии с Су-пиритовым рудным районом Шасси, Chessy); 38 – Итальянская щелочная магматическая провинция Калабрии; 39 – Центральная Швеция, рудный район **Скеллефте** (Skellefte), юг Норвегии; 40 – подпочвы на рапакиви ЮВ Финляндии (0,569–7,73 г/т Тl); 41 – контрастные аномалии Тl с As, Sb, Pb, Cd, I, Zn близ Алэ (Alès) на юге Франции, Центральный Французский массив. До 21,3 г/т Тl, максимальные в Дофинэ (Dauphiné), Западные Альпы [12]; 42 – Бретань; 43 – почвы Эстонии и соседних районов Ленинградской области (0,251–0,739 г/т Тl) [16]; 44 – центральная часть Кольского п-ва (горизонт С, 0,570–0,680 г/т); 45 – почвы Верхней Австрии (> 1 г/т); 46 – почвы ЮВ Гуйчжоу, КНР (до 1 г/т Тl) [17]; 47 – terra rossa Кефаллинея и Эпирус (Kefallinia, Epirus), центральная Македония, Греция, 48 – Тl в Fe-Mn корках Океана, содержания в г/т в квадратных скобках, участки драгирования, номера скважин [18].

1. Докембрий. Наиболее древним объектом со многими минералами Тl (рутьейт $TlHgAsS_3$, парапьерротит $Tl(Sb,As)_5S$) могло бы быть золоторудное месторождение **Хемло** (Hemlo), юго-запад пров. Онтарио, Канада. Его, как и одноименный зеленокаменный пояс, полагают архейским. Скорее, однако, оно многостадийное, с поздними (мезокайнозой?) этапами реювенации. Об этом свидетельствует присутствие компонентов, склонных к самоудалению уже при невысоком повышении Т: киновари, ртутистых золота (до 27 % Hg), сфалерита (до 30 % Hg), ртутного реальгара, самородной Hg [19].

Судя по присутствию рутьейта $TlHgAsS_3$, Тl и Hg присутствовали в минерализующем флюиде совместно. В районе исторической добычи Au и As **Заршуран** (Zarshuran), северо-запад Ирана, первичная минерализация ассоциирует с докембрийскими карбонатами и глинистыми сланцами Иман Хан (Iman Khan) и Заршуран (Zarshuran). Здесь много минералов Тl на контактах с гранитоидами олигоцена-миоцена, вероятных продуктов реювенации первичных концентраций в докембрийских толщах. Как новый тип собственно таллиевых промышленных объектов представляются кайнозойские (?) коры выветривания по докембрийским гондитам-квелузитам (изверженные спесартитовые породы с малым количеством амфиболов, пироксенов, слюд в узких зонах среди метабазитов и метаультрабазитов) **Баррейраш** (Barreiras), запад штата Баия (Bahia), Бразилия.

Прочие древние объекты с природными соединениями Тl.

1.1. **Нью Рамблер** (New Rambler), округ Олбани (Albany), юго-восток штата Вайоминг, – старый Cu-Ag-Au-Pt-Pd объект (эксплуатировался в 1900–1918 гг. добыто 6,1 тыс. т Cu). Залежи связаны с расслоенной (21 слой) сильно дислоцированной толеитовой интрузией Муллен Крик (Mullen Creek, 160 км²), датированной 1,8 млрд лет [20]. В рудах: лорандит $TlAsS_2$, темагамит Pd_3HgTe_3 , атакамит $Cu_2Cl(OH)_3$, азурит, борнит, дигенит Cu_9S_5 ковеллин халькопирит, тетраэдрит $Cu_{12}Sb_4S_{13}$, хризоколла, тенорит CuO, малахит, сфалерит, остербошит Ag_2FeSnS_4 , котульскит $Pb(Te, Bi)_{1-2}$, майченерит $PdBi_2(?)$, меренскиит, монче-

ит (при одинаковой формуле $(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$ кристаллизуются в разных сингониях, гексагональной и тригональной соответственно), сперрилит $PtAs_2$, самородные Au, Ag, Pt, Cu, пирит, пирротин, магнетит, гётит, гематит, лимонит, паоловит $PdSn$, пентландит, виоларит Ni_2FeS_4 , аурипигмент, реальгар. Перудные: кварц, альбит, биотит, хлорит, серицит, клиноцоизит, эпидот, роговая обманка, ярозит.

Лорандит встречен в рудах и месторождения **Рамблер** (Rambler Mine), соседний округ Карбон (Carbon), штат Вайоминг.

1.2. **Стрикерум** (Skrikerum), юг рудной пров. **Бергслаген** (Bergslagen), ЮВ Швеция. Cu-Ag-Pb-Se кальцитовые жилы с селенидами (берцелианит Cu_2Se) среди серпентинитов. Cu-Ag-Pb-Se объект С 1817 г. обнаружены новые крукесит $Cu_7(Tl,Ag)Se_4$, эвкайрит $AgCuSe$, берцелианит Cu_2Se , селеноялпаит Ag_3CuSe_2 . Известны 44 разновидности 39 минералов, среди которых с Тl: буковит $Tl_2Cu_3FeSe_4$, сабатьерит (Cu_6TlSe_4) [21]. Находящиеся в этой же рудной провинции W-Мо скарны **Бисберг** и **Вингструм** имеют Re-Os возраст 1907–1763 млн лет [22, с. 334], предполагаемый и для Тl-носных жил.

1.3. **Илимауссак** (Ilmaussaq) – щелочной комплекс в пров. Нарсак (Narsaq), юго-запад Гренландии. Породы рассечены минерализованными жилами с минералами Тl. В них описаны халькоталлит, талкусит и рохаит [23]. Породы комплекса мезопротерозойские – 1175–1123 млн лет [24]. Талкусит открыт здесь отечественными специалистами [13, 14].

1.4. **Раджпура-Дариба** (Rajpura Dariba), штат Раджастхан, Индия – раннерифейское медно-полиметаллическое, с серебром эксгалационно-осадочное. В залежах среди полосчатых кварцитов, доломитовых мраморов и графитсодержащих сланцев встречен райит $Pb_8(Ag,Tl)_2Sb_8S_{21}$.

2. Ранний палеозой. 2.1. **Сянькуань** (Xiangquan), пров. Аньхой, КНР – первый объект в Мире, отрабатываемый исключительно на таллий [25]. Тl минерализация в микритах (известняк из полупрозрачного карбонатного алевролита, частицы менее 4 мкм; химически осажденный литифицированный ил), среди аллохем (прочих химических частиц, менее 1 %), кальцио-

лютиты (известняк с более 50 % обломков пелитовой и алевроитовой размерности кальцита; консолидированный карбонатный ил) и мергелей группы Луншань (Lunshan), O₁. Tl в пирите, лорандите TlAsS₂, хатчинсоните (Pb,Tl)₂As₅S₉. Элемент поступал из субмаринных эксгаляций и аккумулировался в известковистых донных илах. В раннем мелу (Яньшаньский рудогенез) осадки переработаны с формированием гидротермальных жил. Рудные тела I, II, III содержат 250 т Tl при бортовом значении 0,05 % Tl. Самородный «невидимый Tl» распространен в зернах до 10 мкм по краям позднего гидротермального пирита (ранний пирит коллоидный, с тонкими прослойками глинистых минералов и кварца), периферии выделений лорандита TlAsS₂, хатчинсонита (Pb,Tl)₂As₅S₉. Коллоидный высокоталлиевый пирит раннеордовикский, образовался одновременно с осадконакоплением на дне моря. Sm-Nd даты для гидротермального пирита меловые: 131,9±2,6 млн лет и 79±9,7 млн лет.

2.2. **Гайское**, Оренбургская область. Суколчеданное D₃-C₁. Начальные стадии формирования относятся к 375–350 млн лет, финальные – 325–310 млн лет, K-Ar [26]. До начала эксплуатации запасы 0,5 млрд т руды с отношением Cu:Zn = 0,4. Запасы Au 566,4 т. В рудном теле 5–14 от 4,8 до 5,9 г/т Tl. Максимальные содержания в блоке с Cu = 3,3 % и Zn = 3,4 % [27].

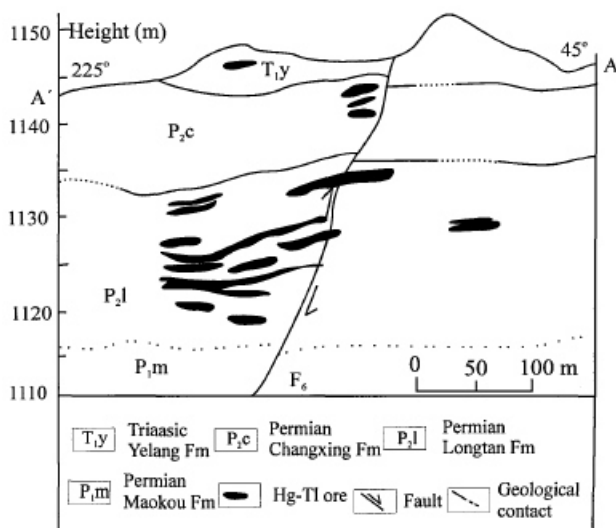


Рис. 2. Четырнадцать стратиграфических уровней таллиевых руд в разрезе позднепермского месторождения Ланьмучань (Lanmushan), пров. Гуйчжоу, КНР. По Chen, из [9, fig 3–5]. Условные обозначения (перевод, сверху вниз, слева направо): 1 – триасовая формация Йелань; 2–3 – верхнепермские формации, в т.ч.: 2 – Шаньсинь, 3 – Лоньтан; 4 – нижнепермская формация Маокоу; 5 – Hg-Tl руды; 6 – разлом; 7 – геологические контакты.

3. Поздний палеозой. 3.1. **Ланьмучань** (Lanmushan), пров. Гуйчжоу, КНР. Tl-(Hg) [28], рис. 2. Руды Tl на площади 1,5 км². Среди минералов (31 вид) преобладает лорандит TlAsS₂. Открыт новый ланьмучанит TlAl(SO₄)₂·12H₂O. Отмечены кристит TlHgAsS₃, имхофит Tl₆CuAs₁₆S₄₀, Tl-As пирит, рагинит TlFeS₂ [9], представляющие практический инте-

рес, помимо Tl, также Hg, As, W, Au. Рудные тела среди отложений верхнепермских формаций Лоньтань (Longtan) и Чаньсинь (Changxing) в 14 слоях, особенно в тех, что образованы в гидридных условиях. Наиболее благоприятна для Tl минерализации зона фазовых преобразований этих пород. Лорандит и кристит – в псевдоморфозах по скорлупкам микрофауны, фузулинам и заариям. Некоторые залежи с рагинитом, лорандитом, криститом имеют протяженность 60–240 м при ширине 40–80 м и мощности 2,5 м.

Различают стадии формирования залежей: 1 – биообогащения, одновременную с позднепермским осадконакоплением или более позднюю. Содержания Tl напрямую коррелируются с обилием микрофоссилий. Зерна минералов до 1 мм; 2 – гидротермальную T₂, связанную с индосинийским тектогенезом. Выделения минералов Tl до 5–10 мм. Они образуют массивные, расходящиеся из центра, линзовидные, карманоподобные залежи [28]. Пластики антрацита мощностью 2–5 см в породах верхнепермской формации Лоньтань (Longtan) местные крестьяне разрабатывали с эпохи ранней династии Цинь (221–207 гг. до н. э.) [9].

3.2. **Таншань** (Tangshan), пров. Хэбэй. Позднепалеозойский (пермокарбон) каменный уголь. 1,37 г/т Tl (максимальные концентрации для углей КНР) [9]. На северо-востоке КНР угленосны отложения плиоценовые (Zhaotong), миоценовые (Suange), среднеюрские (Datong/Yan'an), среднепермские (Shihezi), нижнепермские (Shanxi), верхнекаменноугольные (Tiayuan), среднекаменноугольные (Benxi). В пров. Хэбэй, однако, промышленное значение имеют только битуминозные угли пермокарбона бассейна **Тайсинь-Шандоу** (Taixing-Shandou) [29].

4. Мезозой. 4.1. **Ленгенбах** (Lengenbach Quarry), Швейцария. Пеннинская зона Южных Альп, где Альпийский метаморфизм достигает фаций зеленосланцевой высших ступеней и начальной амфиболитовой. Pb-Zn-As-Tl-Ba местонахождение сульфосолей и сульфидов в сахарных доломитах триаса (141 разновидность 127 минералов, 32 новых вида). Отрабатывается на коллекционные образцы. Минералы Tl: талкусит TlCu₃FeS₄, лорандит TlAsS₂, врбаит Tl₄Hg₃Sb₂As₈S₂₀, бернардит Tl(Sb,As)₅S₅, вейсбергит TlSbS₂. Присутствуют впервые обнаруженный в 1971 г. на Нижнемамонском Cu-Ni объекте точилинит 6Fe_{0,9}Sx₅(Mg, Fe)(OH), киноварь, колорадоит HgTe, стибнит, полибазит (Ag,Cu)₁₆Sb₂S₁₁, кестерит Cu₂(Zn,Fe)SnS₄, байлихлор ((Zn, Fe+2), Al, Mg)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈, самородные Au, Ag, S, As, диморфная разность последнего арсеноламприт As. Доломиты обогащены (в порядке уменьшения значений): As, Pb, Ag, Tl, Hg, Zn, Ba, Cd, Fe, Cu, Mo, U, V, Ga, Cr, возможно, Sn и Au. As, Pb, Zn присутствуют в значениях 0,1–1,0 %, Ag и Tl – до сотен г/т. Уранинит концентрируется в слоях, обогащенных кремнеземом. Он датирован позднеальпийским возрастом – 18,5±0,5 млн лет, U-Pb. Изотопные вариации Pb и S указывают на влияние метаморфизма и повторное достижение равновесия в изохимически метаморфогенной

минерализации. Уникальная минеральная ассоциация **Ленгенбаха** – результат метаморфогенной переработки стратиформной сульфидной минерализации карбонатных пород триаса. Хорошо ограненные кристаллы «росли» в обстановке равновесия между расплавом и гидротермальным флюидом в обстановке ретроградного охлаждения. Первичная минерализация появилась у морского дна под влиянием бедных серой флюидов. Осадок обогащался S в результате бактериальной сульфат-редукции, Mo, U, V – из морской воды [30].

4.2. **Жа Руз** (Jas Roux), деп. Высокие Альпы (Hautes-Alpes), Франция. Триасовое стратиформное Tl-Hg-Ag-As-Sb в доломитистых известняках Т. Обогащенная баритом зона мощностью 3,8 м между доломитами и перекрывающимися известняками и мергелями. Открыты минералы Tl: рутьеит $TlHgAsS_3$, шабурнеит $(Tl,Pb)_5(Sb,As)_{21}S_{34}$, пьерротит $TlSb_5S_8$, Прочие таллиевые: дораллхарит $(Tl,K)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$, парапьерротит $Tl(Sb,As)_5S$, боскардинит $TlPb_4(Sb_7As_2)S_{18}$. Минерализации предшествовало сильное силицифицирование, превратившее породы в джаспероиды. В последних много кварцевых жилок, косоориентированных к слоям. Второй эпизод минерализации совпал с тектоническими напряжениями, сопровождаемыми баритом и флюоритом. Пирит, колломорфный, с довольно высоким содержанием таллия, характерен для первой фазы. Образует миллиметровые слои, параллельные слоистости глин в триасовых породах. Следом выпадал сфалерит, обогащенный кадмием при низком содержании железа. Затем наступила стадия сульфосолей свинца (твиннит, цинкениит, андоррит). Поздний гидротермальный пирит (пентагондодекаэдр) содержит в среднем 0,07 % Tl [23].

4.3. На **Талнахском** Cu-Fe-Ni-PMG месторождении у Норильска В. А. Коваленкер описал в рудах новый минерал талкусит. Позднее этот же авторский коллектив открыл его и в жилах южной Гренландии (**Илимауссак**) [13, 14]. Возраст **Норильских** месторождений – финальные стадии T_1 , домагматическая рудоподготовка – с протерозоя [31, с. 144–146].

4.4. **Квайсинские** Pb-Zn гидротермальные объекты Южной Осетии позднеюрские. С. С. Боришанской в их сфалеритах обнаружил гутчисонит. До 200 г/т Tl – в дисульфиде железа. Колломорфные сульфиды на один-два порядка богаче Tl сравнительно с кристаллическими [32].

4.5. **Зимудань** (Zimudang), юго-запад пров. Гуйчжоу, «**Золотой Треугольник Южного Китая**». Позднемеловое [33] месторождение Au типа Карлин (ресурсы 60 т, при 5 г/т), Hg, со значительными содержаниями Tl. Среди пермских известняков, доломитов, алевролитов, аргиллитов формаций Маокоу (Maokou), Лонгань (Longtan), Йелань (Yelang) и др. (до T_3). Присутствуют лорандит, киноварь, стибнит и т.д.

4.6. **Миншань** (Mingshan, округ Лингюн (Lingyun) префектура Байсе (Baise), Гуанси-Джуанский автономный район (Guangxi Zhuang), Китай. $24^{\circ}24'30''N$,

$106^{\circ}51'30''E$. Раннеюрское Au-(Tl) вкрапленных руд типа Карлин в осадочных породах. Помимо арсенопирита, пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, присутствует аурипигмент. Возраст руд дискуссионный. В работе [34] указывается, что минерализация **Миншань**, как и прочих месторождений бассейна Юдзянь (Youjiang), ассоциирует с битумами и связана с эпохами активизации индосинийской (поздние стадии) и яньшаньской (ранние стадии). Для соседнего объекта **Цзинья** (Jinya, 40 км к северу от **Миншань**) Rb-Sr дата по Au-носному гидротермальному серициту – 206 ± 12 млн лет. Au-носный мышьяковистый пирит **Ланнингоу** (Lannigou, 150 км к СВ) датирован 193 ± 13 млн лет, Re-Os, серицит из жильного выполнения отсюда же – 194.6 ± 2 млн лет, $^{40}Ar/^{39}Ar$.

4.7. **Яньшань** (Yanshan, Shuiyindong), округ Женфень (**Zhenfeng**), автономная префектура Цинсианан (Qianxi'nan), пров. Гуйджоу (Guizhou), Китай, Au-Tl-Hg стратоподобное в осадочных породах. Рудные: стибнит, самородное Au, арсенопирит, пирит, марказит, магнетит, акрипигмент, реальгар. Нерудные – кварц, кальцит (в т.ч. железистый), доломит, каолинит [35]. При анализе Sm-Nd соотношения в гидротермальных кальцитовых жилах периферии декарбонизированных (лишившихся углерода) зон, получен изохронный возраст от 134 ± 3 млн лет до 136 ± 3 млн лет. Он интерпретирован как время декарбонизации и отложения золота [34]. Ресурсы золота более 100 т, содержания – более 7–10 г/т. Относится к типу Карлин. Золото упорное, в мышьяковистом пирите и арсенопирите. Доказанные резервы 55 т, средние содержания – 7–18 г/т. 3 основных рудных тела (Ша, Шб, Шс) содержат половину резервов. Они имеют протяженность 100–400 м, ширину 50–150, мощность 1,7–1,9 м, среднее содержание 16 г/т [36].

4.8. **Нанхуа** (Nanhua), пров. Юньнань, Китай. Позднеюрское Tl-As жильное. Считается также собственно таллиевым [37]. Объект относят к типу терригенно-осадочных реювенированных. В минеральной ассоциации эллисит Tl_3AsS_3 пикопалит $TlFe_2O_3$, хатчинсонит $(Pb,Tl)_2As_5S_9$, Tl-As пирит. Разломы СВ простирания близко ассоциируют с Tl-содержащими телами. В разрезе принимают участие толщи мальма: Дала (Dala Member, 242 м мощностью, $J_3^1 b$), Сионьхуаньшань (Xionghuangchang Member, 285 м, $J_3^1 c$, основная, вмещающая руды Tl), Наран (Naran Member, 62 м, $J_3^1 a$). Толща Сионьхуаньшань (Xionghuangchang) – «желтые слои» – основная рудовмещающая. Рудный горизонт (терригенные кластиты) насыщен остатками Ostracoda, Pelecypoda и рыб. На участках, где биокластов больше, отмечено и обогащение Tl. Tl минерализация протяженна – до 650–850 м. Только в пределах толщи Сионьхуаньшань (Xionghuangchang) 15 оруденелых горизонтов при ширине 1,02–1,10 м. Полосчатые и тонко-массивные текстуры преобладают. Содержания Tl колеблются между сотнями г/т и килограммами на тонну, иногда до десятков кг/т ($\times 10^{-2}$). Среди минералов Tl хатчинсонит, пикопалит, эллисит, Tl-носный пирит. Основной механизм появления скоплений Tl – биометалло-

генезис: появление первичных конседиментационных концентраций, благодаря биообогащению (первая стадия); гидротермальная переработка ранних концентраций (вторая стадия) [37]. Геологические ресурсы – 391,7 т Тl [4].

4.9. **Сиреневый Камень**, Олекминский улус, Якутия. Месторождение (10 км²) подлоачного минерала чароита (моноклинный амфибол (Ca, Na, Sr, Ba)₃(Si₄O₁₀)(OH, F) H₂O) в останце кровли **Мурунско-го** массива (187–76 млн лет [38]). Самые поздние образования массива – результат воздействия щелочно-го метасоматоза на кремнисто-карбонатные образования протерозоя [39]. В чароититах установлено более 30 уникальных, экзотических и крайне редко встречающихся минералов: чароит (Ca, Ba, Sr)₅(K, Na)_{3–4}(Si₁₂O₃₀)(OH, F)_{2–1}·nH₂O, канасит (Na, K)₆Ca₅(Si₁₂O₃₀)(OH, F)₄, федорит (K, Na)₂(Ca, Na)₆(Si₁₆O₃₈(OH, F)₂·xH₂O, батисит KNa(Ba, Ca) (Ti, Fe, Mn)₂(Si₄O₁₂)(O, OH)₂, тинаксит Ca₂K₂NaTi(Si₇O₁₉)(OH), бенстонит Ba₆Ca₆Mg(CO₃)₁₃, сперрилит PtS₂ и многие др. Для чароититов характерны также выделения самородной меди. Чароитсодержащие породы развиты в виде неправильных по форме и изменчивых по размерам блоков, линзо- и жиллообразных тел мощностью 0,2–3,7 м, длиной 2–14 м. Возраст чароита 107 млн лет [39].

4.10. **Гал-Хая**, северо-восточная Якутия. Аптские-позднемиеловые **Селенныхские** рудные пояса и зона. As-Sb-Hg месторождение. В 1972 г. открыт галхаит (Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn)₆(As, Sb)₄S₁₂. В рудной ассоциации стибнит, гетчелит AsSbS₃, киноварь, метациннабарит, акташит Cu₆Hg₃As₄S₁₂, вакабаяшиллит (As, Sb)₁₁S₁₈, грейгит Fe⁺²Fe⁺³₂S₄, реальгар, аурипигмент. Нерудные: кварц, кальцит, флюорит [35].

5. Кайнозой. 5.1. **Алсар** (Алшар, Alšar), юг Македонии (у границы с Грецией). Низкотемпературное гидротермальное Au-As-Tl, в связи с вулканическим интрузивным комплексом (6,5–1,8 млн лет). Возраст лорандита 4,5–4,2 млн лет. Разрабатывали в 1880–1908 гг. руды, обогащенные Тl. На руднике **Црвен Дол** (Crven Dol) сохранились ресурсы до 0,5 тыс. т Тl. В рудном теле, в среднем, содержится 6 % As, 0,3 % Тl, 0,08 % Sb, 0,2 г/т Au. Лорандит – основной минерал Тl, прочие – янковицит (Tl₅Sb₉(As, Sb)₄S₂₂, фангит (Tl₃As₄), бернардит (Tl(Sb, As)₅S₅), пикопалит TlFe₂O₃, парапьерротит Tl(Sb, As)₅S, рагинит TlFeS₂, врбаит Tl₄Hg₃Sb₂As₈S₂₀, вейсбергит TlSbS₂, кристит TlHgAsS₃, доралшарит (Tl, K)Fe⁺³(SO₄)₂(OH)₆, ребулит Tl₅Sb₅As₈S₂₂ [40, 41]. Указывают [42] 74 разновидности 53 минералов. 9 видов – новые. Отметим дополнительно к названным: орегонит Ni₂FeAs₂, вульфенит Pb(MoO₄), самородное Au, фиброферрит [Fe(SO₄)(OH) 5H₂O]. Из нерудных – старкеит MgSO₄·4(H₂O), скородит Fe³⁺[AsO₄]x2H₂O, клаудетит As₂O₃, мансфильдит AlAsO₄·2H₂O.

5.2. **Заршуран** (Zarshuran), северо-запад Ирана. Район исторической добычи Au и As. Первичная минерализация ассоциирует с докембрийскими карбонатами и глинистыми сланцами Иман Хан (Iman Khan) и Заршуран (Zarshuran). На контактах гранитоидов олигоцен-миоцена со сланцами – минерализация возраст

том 27–14 млн лет [24]. Присутствуют лорандит TlAsS₂, кристит TlHgAsS₃, хатчинсонит (Pb, Tl)₂As₅S₉, симонит TlHgAs₃S₆, галхаит (Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn)₆(As, Sb)₄S₁₂, минералы Hg (киноварь и т.д.), Sb.

5.3. **Гремучка** (Gremuchka), Пятигорск, Ставропольский край, – жильная система **Лермонтовского** U месторождения. Ассоциирует с интрузией бештаунитов (3 км², щелочных пироксено-асфиболовых трахилипаритов, или гранитпорфиров) с возрастом 25 млн лет. В жиле "Ведущая" лорандит TlAsS₂, врбаит Tl₄Hg₃Sb₂As₈S₂₀, промышленное содержание Тl [43].

5.4. В северо-восточной Неваде многочисленные месторождения ультратонкого золота трендов **Карлин** (Carlin) и **Гетчел** (Getchell) обеспечивают США одно из ведущих мест в мировой золотодобыче – **Рен, Родео, Мейкл, Бетзе-Пост, Дип Стар, Карлин-Ист, Энфилд** (Enfield), **Ико** (Iko), **Гетчел** (Getchell) и другие. Их долго не удавалось точно датировать. Ныне пришли к консенсусу – залежи имеют возраст 42–36 млн лет, поздний-средний эоцен. Скарны **Гэтчел** начали формироваться раньше, от 95 млн лет до 39 млн лет назад. Здесь на рудной стадии появились галхаит (Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn)₆(As, Sb)₄S₁₂, стибнит, реальгар [44]. Даты 34, 39, 42 млн лет по галхаиту и флюориту **Гетчел**, адуляру из окрестностей **Твин Крикс** (Twin Creeks) определили отложение золота в **Гетчел** [44]. Золотой рудник **Ико** месторождения **Карлин** в богатейшей минеральной ассоциации (96 разновидностей 91 минерального вида) содержит 4 новых минерала таллия (карлинит Tl₂S, кристит TlHgAsS₃, эллисит Tl₃AsS₃) плюс таллиевые авиценнит Tl₂O₃, карлинит Tl₂S, лорандит TlAsS₂, кристит TlHgAsS₃, галхаит (Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn)₆(As, Sb)₄S₁₂. Тl шел во флюиде вместе с золотом.

5.5. В рудном районе **Меркур** (Mercur Mine), штат Юта, месторождения ультратонкого золота типа Карлин датированы не вполне определенно. Скорее всего, они олигоценовые (31,5 млн лет), судя по дате для местных риолитов Игл Хилл (Eagle Hill) [45]. На объекте **Меркур Майн** лорандит TlAsS₂ сопровождают киноварь, стибнит. Для месторождения **Лулу** (Lulu cut, South Mercur Pit) лорандит сопровождают рагинит TlFeS₂, в белом кальците открыт новый гиллулуит Tl₂(As, Sb)₈S₁ [46].

5.6. **Таллиевый Участок** (Thallium Prospect, Lookout Pass), округ Туэль, Юта, США. Объект имеет, скорее всего, олигоценовый возраст [47]. Проявление минералов Тl: авиценнит Tl₂O₃, пьерротит TlSb₅S₈, парапьерротит Tl(Sb, As)₅S, вейсбергит TlSbS₂, врбаит Tl₄Hg₃Sb₂As₈S₂₀. Прочие рудные: киноварь, сервантит Sb₂O₄, сенармонтит Sb₂O₃, стибиконит Sb³⁺Sb⁵⁺O₆(OH), стибнит, пирит, лимонит, реальгар, аурипигмент, Нерудные: кварц (халцедон), кремний [48].

5.7. **Кирувилка** (Quiruvilca), Перу, – среднемиоценовый Cu-Pb-Zn-Ag-Au жильный (130 жил) объект среди разновозрастных андезитов. Славится прекрасными образцами хатчинсонита (Pb, Tl)₂As₅S₉, сопровождаемого самородным As, стибнитом и др. В 1984 г.

из 358 тыс. т добытой руды получили 2400 т Cu 3500 т Pb, 10 000 т Zn, 55,200 т Ag, 78 кг Au [21].

5.8. **Баррейраш** (Barreiras), запад штата Баия (Bahia), Бразилия. Компания Itaeste Serviços e Participações Ltda обнаружила месторождение таллия в континентальной геологической обстановке, в ассоциации с Mn и Co. Резервы таллия определены в 60 т. В год полагают получать по тонне Tl в форме солей, а также сульфат марганца и оксид кобальта. Предположительно связано с зоной окисления по архейским гондитам и их разности квелузитам.

5.9. **Туминьико** (Tumíñico Mine), пров. Ля Риоха (La Rioja), Аргентина. Миоценовое Cu-Se, с датой 23–2,6 млн лет. Кальцитовые жилы в амфиболитах среди мраморов. Вмещающие селенидную минерализацию породы – мраморы с тонкими слоями амфиболов. Последние рядом с рудами интенсивно прокрашены гематитом. Таллиевые минералы – буковит $Cu_3Tl_2FeSe_4$, крукесит Cu_7TlSe_4 (в зернах берцелианит

Cu_2Se) Открыт новый бродткорпит (?) Cu_2HgSe_2 . В минеральной ассоциации 34 разновидности 32 минеральных видов [49].

5.10. **Косака** (Kosaka), преф. Акита (Akita), Япония. В Cu-Pb-Zn рудах в среднем 800 г/т Tl [50].

5.11. **Нижний Бык**, Воробьевский район, Воронежская область. Ультратонкое высокоталлиевое золото отложений сумской свиты палеоцена (18,914 % Tl). То же – в отложениях киевской свиты эоцена в Сергеевке, Белгородская область (6,245 % Tl) и др. [5; 6, с. 44].

5.12. **Джузумли**, Самаркандская область, Узбекистан. В зонах окисления железисто-карбонатных жил в ассоциации с кальцитом и гематитом авиценнит Tl_2O_3 (1958 г.) [51].

5.13. **Силс** (Sils ditch), префектура Цамдо (Qamdo), Тибет, КНР. Авиценнит в ассоциации с анатазом, баритом и т.д. [52].

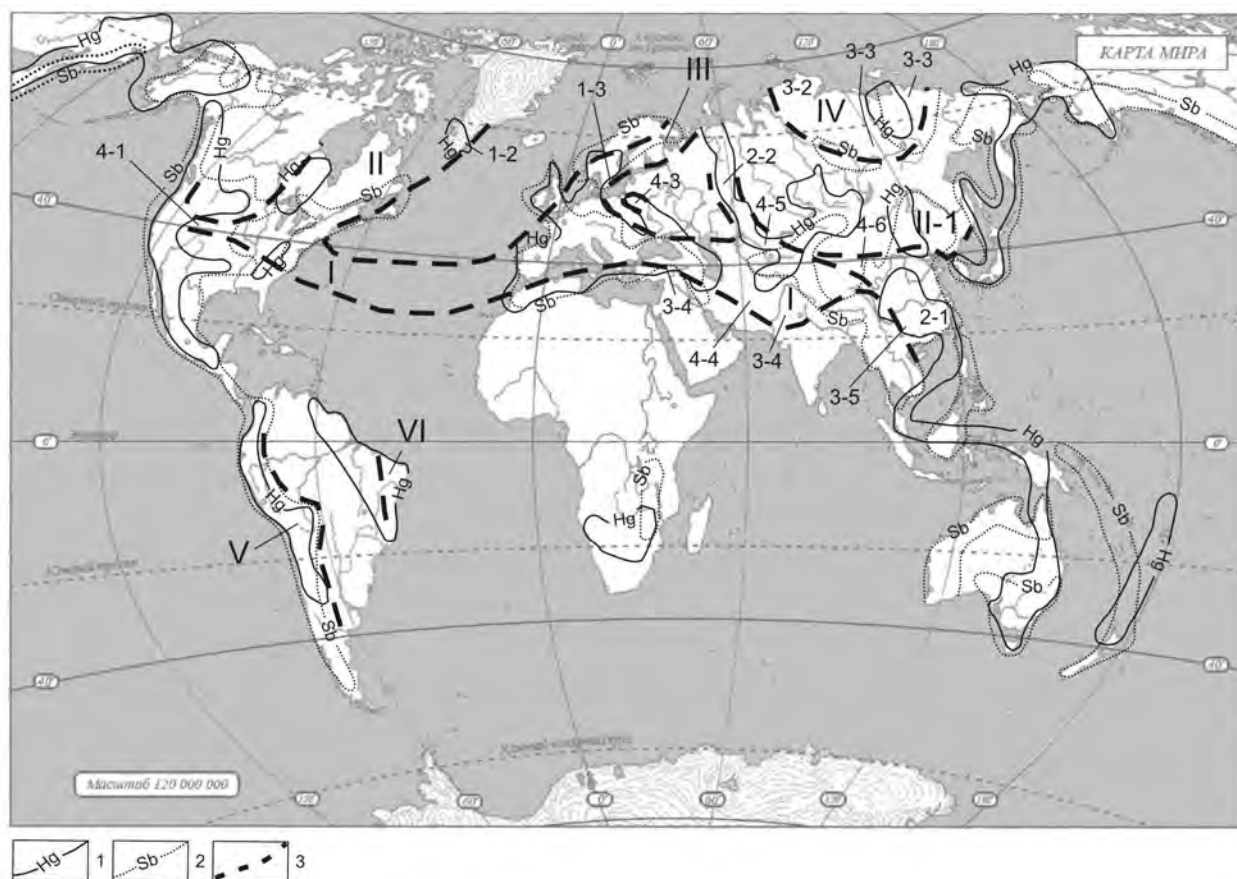


Рис. 3. Разновозрастные историко-миерагенические провинции (ИМП) с аномальными содержаниями Tl в рудах, корях выветривания и почвах. 1-3 – основные историко-миерагенические провинции (ИМП) с повышенными скоплениями летучих элементов: 1 – ртути, 2 – сурьмы, 3 – таллия, в т.ч.: I – “Полоса сороковой параллели”; II – Нью-Рамблер–Хемло–Илимауссак; III – Балтийского щита; IV – Таймыра–Северной Якутии; V – Кордильер; VI – Восточной Бразилии. Частые ИМП: докембрийские, в т.ч.: 1-1 – кратона Вайоминг, 1-2 – юго-востока Гренландии, 1-3 – юго-восточной Швеции, 1-4 – северо-восточной Индии; то же, 2-1 – палеозойские юго-восточного Китая, 2-2 – то же, Южного Урала; мезозойские: 3-1 – Альп (Франция, Швейцария), 3-2 – Таймыра, 3-3 – Мурунского массива, 3-4 – Южной Осетии, 3-5 – Гуанси-Гуйчжоу; кайнозойские: 4-1 – Невады–Юта, 4-2 – Ставрополя, 4-3 – Воронежской антеклизы, 4-4 – северо-западного Ирана, 4-5 – Узбекистана, 4-6 – Тибета.

Историко-миерагенические провинции (ИМП) с таллиевой минерализацией

Ареалы повышенных концентраций таллия в рудах и породах (ИМП) в значительной степени сходны

с таковыми прочих летучих элементов (Hg, Sb), рис. 3. К ним отнесены: историко-миерагеническая провинция “Полосы сороковой параллели”, ИМП Нью-Рамблер–Хемло–Илимауссак, Балтийского щита,

Таймыра-Северной Якутии, Кордильер, Восточной Бразилии, Южного Урала и др.

К закономерностям ареальной таллиенности отнесем такие: 1 – крайняя неравномерность распределения повышенных концентраций элемента. Так, Северное полушарие вмещает практически все известные его проявления, при этом ресурсы могут составлять сотни тонн, а минеральные ассоциации включать множество минералов Тl. В Южном полушарии проявления не только малые (1–2 минерала Тl), но их только три из учтенных нами 52: в Притихоокеанской (**Кирувилка**; **Туминьико**) и Притихоокеанской (**Баррераш**) зонах Южной Америки. В Африке, Австралии, Антарктиде минералы Тl никогда не встречались; 2 – самые значительные таллиенные объекты прослежены по «Полосе сороковой параллели» от запада США (Невада-Юта) на Онтарио (**Хемло**), Альпы (**Жа Руз**, **Ленгенбах**), Кавказ (**Квайсинские** в Южной Осетии, **Гремучка** у Пятигорска), Узбекистан (**Джезумли**), Тибет (**СилО**, юго-восток КНР (**Ланьмучань**, **Миншань**, **Зимудань** и др.), в Японию (**Косака**). Именно на траверсе «параллели» через Атлантику глубоководные Fe-Mn нодулы аномально обогащены Тl, до 131–150 г/т (скважины VM 1969,05 и Элимн-539 [18]); 3 – не случайна приуроченность к полосе «Сороковой параллели» основных мировых месторождений ртути и сурьмы. Для ртути на западе США это **Нью-Идрия**, **Нью-Альмаден**, через Атлантику (последовательно) – **Альмаден**, **Мошельландсберг** (Германия), **Монте-Амиата**, **Идрия** (Словения), **Никитовка**, многие сотни объектов Средней Азии и Восточного Китая. В пределах «Сороковой параллели» оказались также сурьмяные гиганты мирового уровня такие как **МакЛаффин** (Калифорния), **Бивер Брук** (Ньюфаундленд), **Кадамджай** (Киргизия), **Джижикрут** (Таджикистан), **Сигуаньшань** (пров. Хунань, КНР), множество других крупных объектов США, Западной Европы; 4 – в отличие от ртути, высокая таллиенность не характерна для Тихоокеанского кольца. Проявления фиксируются только на приокеанических площадях, примыкающих к «Сороковой параллели». Последний термин акцентирует внимание читателя на узкое субширотное распространение крупнейших аккумуляций летучих в планетарном масштабе. Его не стоит понимать буквально; осевая линия «параллели» в действительности меняет положение от 43° до 23° с.ш.; 5 – таллиенные аномалии намечают западное и восточное ограничения Северной Атлантики, что отмечалось ранее и для сурьмы. Эти границы древние. Таллиенные скопления **Хемло** в Онтарио приурочены к архейским толщам, Южной Гренландии – к протерозойскому массиву (**Илимауссак**), на противоположной стороне океана – к нижнепротерозойским образованиям (**Стрикерум**); 6 – наиболее распространенные аккумуляции таллиевых руд – мезозойские (триасовые в Западной Европе, яньшаньские-позднеюрские на юго-востоке Китая) и кайнозойские (Невада, Юта, Македония, Ставрополье). Нередко это интенсивно переработанные, более ранние эксгалиационно-осадочные

накопления морского дна (триасовые **Ленгенбах** в Швейцарии и **Жа Руз** во Франции), но иногда реювенация не столь значительна (позднепермское **Ланьмучанг**). Чисто гидротермальные, без установленной предистории таллиенные объекты, вроде меловых на севере Сибири (**Гал-Хая**) немногочисленны; 6 – темпы выветривания пород земной коры оценивают [52] в 4 млрд т в год. Это количество обеспечивает ежегодное поступление в почвы и подпочвы 2400 т Тl. Концентрации элемента, склонного задерживаться оксидами Fe и Mn при выветривании, лишь несколько возрастают сравнительно с исходными образованиями. Тем легче оконтурить площади первичной повышенной таллиенности. Согласно рис. 1, они близко соседствуют с основными рудопроявлениями в Европе и Юго-Восточном Китае.

Заключение

Распространение повышенных концентраций таллия на континентах Земли во многом схоже с таковым ртути и сурьмы. Во всех трех случаях они тяготеют к прерывистой субширотной полосе «Сороковой параллели» Евразии, маркирующей мощную линейную структуру растяжения Тетиса. Эта зона довольно уверенно продолжается цепью важных таллиенных объектов и в Западное полушарие – к основанию Калифорнийского полуострова. Таллий и прочие летучие не характерны для донных осадков Океана, но именно на траверсе через Атлантику, в пределах «параллели», глубоководные Fe-Mn нодулы оказываются максимально обогащенными Тl и Hg.

Наиболее древняя (докембрийская) таллиевая минерализация по обоим ограничениям Северной Атлантики может быть связана с ранней предисторией ее бассейна. Становление последнего, судя по пониженной ртутоносности бортов Атлантического океана, связано, больше, с коровыми процессами. Особенно по сравнению с Циркумпацификом и «Сороковой параллелью».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевырёв, Л. Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке Земли: вероятная историко-минералогическая интерпретация. Статья 1. Ртуть / Л. Т. Шевырёв // Вестн. ВГУ. Сер. : Геология. – 2013. – № 2. – С. 106–117.
2. Мировой рынок таллия. Производство и потребление таллия в мире, тонн [Электронный ресурс]. URL: <http://cmmarket.ru/markets/tlworld.htm> (Дата обращения 10.11.2014).
3. Таллий. Содержание [Электронный ресурс]. URL: [http://www.encyclopaedia.bigra.ru/enc/science_and_technology/...](http://www.encyclopaedia.bigra.ru/enc/science_and_technology/) (Дата обращения 10.11.2014).
4. Bibliothèque et Archives Canada [Электронный ресурс]. URL: <http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/ftp04/NQ65214.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
5. Савко, А. Д. Геохимические особенности и генезис золота осадочного чехла Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильяш, В. А. Окорков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – Воронеж. – 1996. – № 2. – С. 86–95.
6. Савко, А. Д. Золото и редкие минералы в осадочном чехле Воронежской антеклизы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильяш, Е. Н. Божко // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — Вып.1. — С.133-138.

7. Таллий. – БСЭ. – 3-е изд. – В 30 т. – Т. 25. – 1976. – С. 232–233.
8. WEDEPOHL, K. The chemical composition of kimberlites compared with the average composition of their basaltic magma types / K. H. Wedepohl, Y. Muramatsu // Kimberlites, Diatremes, and Diamonds: Their Geology, Petrology, and Geochemistry. – 1979. – Special Publications. – Vol. 15. – P. 299–312.
9. XIAO, TANGFU Environmental impact of thallium related to the mercury-thallium-gold mineralization in southwest Guizhou Province, China / Tangfu Xiao // PhD Thesis, University of Chicoutimi (Québec), Canada, 2001. – 268 p.
10. ANDERSON, C. W. Whytomining for nickel, thallium and gold / C. W. N. Anderson, R. R. Brooks, A. Chiarucci, C. J. LaCoste // Journal of Geochemical Exploration, 1999. – 67. – P. 407–415.
11. Таллий для растений: конкурент калия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pharmacognosy.com.ua/index.php...i...garantirovannoye...> (Дата обращения 10.11.2014).
12. Tl–Thallium [Электронный ресурс]. URL: <http://www.werppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Tl.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
13. Коваленкер, В. А. Талкусит $TlCu_3FeS_4$ – новый сульфид таллия из медно-никелевых руд Талнахского месторождения / В. А. Коваленкер, И. П. Лапутина, Т. Л. Евстигнеева, В. М. Изойтко // Зап. Всес. Мин. общества, 1976. – 105. – С. 202–206.
14. Коваленкер, В. А. Калиевый талкусит из плутона Илимассак и новые данные о халькоталлите / В. А. Коваленкер, И. П. Лапутина, Т. Л. Евстигнеева // Докл. АН СССР, 1978. – 239. – С. 1203–1206.
15. Якутия – самая загрязненная территория России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.forum.ya1.ru/showthread.php?t=33057> (Дата обращения 10.11.2014).
16. SALMONEN, REIJO Geochemical Atlas of the Eastern Barents Region / Reijo Salmonen, V. Chekushin, M. Tenkhola et al. // J. of Geochem. Explorations, 2004. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.books.google.ru/books?isbn=0444518150> (Дата обращения 10.11.2014).
17. XIAO, TANGFU High thallium content in rocks associated with Au–As–Hg–Tl and coal mineralization and its adverse environmental potential in SW Guizhou, China / Tangfu Xiao, Jayanta Guha, Dan Boyle // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2004. – V. 4. – N. 3. – P. 243–252 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geea.geoscienceworld.org/content/4/3/243> (Дата обращения 10.11.2014).
18. REHKÄMPER, MARK Proterozoic marine geochemistry of thallium deduced from isotopic studies of ferromanganese crusts and pelagic sediments / Mark Rehkämper, M. Franka, J. R. Hein, A. Halliday // Earth and Planetary Science Letters, 2004. – 219. – P. 77–91 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sciencedirect.com> (Дата обращения 10.11.2014).
19. Беневоольский, Б. И. Рудные ресурсы и их размещение по геозомам. Благородные металлы (МПП, золото, серебро) : справочное пособие / Б. И. Беневоольский, И. Г. Ганеев, В. В. Скрипченко [и др.]. // Под ред. Д. В. Рундквиста. – М. : Недра, 1995. – 223 с.
20. HAUSEL, W. DA Mining History and Geology of Some of Wyoming Metal and Gemstone Districts and Deposits / W. Dan Hausel. – Laramie, Wyoming, 1993. – 65 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wsgs.uwyo.edu/public-info/.../R-56.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
21. Mineralogy Database – Mineral Collecting, Localities, Mineral Photos... [Электронный ресурс]. URL: <http://mindat.org> (Дата обращения 10.11.2014).
22. Рундквист, Д. В. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия / Д. В. Рундквист, М. В. Минц, В. М. Ларин, В. М. Ненахов [и др.]. – М. – 1999. – 399 с.
23. JOHAN, ZDENEK Thallium-rich mineralization in Jas Roux, Haute-Alpes, France: a complex epithermal, sediment-hosted ore system / Zdenek Johan // Journal of the Czech Geological Society, 2000. – 45/1-2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.paper.edu.cn/.../zhoutaofa-200703-16> (Дата обращения 10.11.2014).
24. HAZEN, ROBERT Mercury (Hg) mineral evolution: A mineralogical record of supercontinent assembly, changing ocean geochemistry, and the emerging terrestrial biosphere / Robert M. Hazen, Joshua Golden, Robert T. Downs, Grethe Hystad [et al.] // American Mineralogist, 2012. – V. 97. – P. 1013–1042.
25. ZHOU, T.F.A preliminary geological and geochemical study of the Xiangquan thallium deposit, eastern China: the World's first only thallium mine T. F. Zhou, Y. Fan, F. Yuan, M. A. Wu [et al.] // Mineralogy and Petrology, 2005. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.paper.edu.cn> (Дата обращения 10.11.2014).
26. Гаррис, М. А. Геохронологическая шкала Урала и основные этапы его развития в докембрии и палеозое (по данным калий-аргонового метода) / М. А. Гаррис // Междунар. геол. конгр., XXII сессия : докл. сов. геол. – Секция : «Абсолютный возраст геологических формаций». – М.: Наука, 1964. – С. 128–156.
27. Серавкин, И. Б. Гайское медноколчеданное месторождение – структура, зональность и распределение золота и серебра в рудах / И. Б. Серавкин, В. Н. Скуратов // Литосфера, 2009. – № 4. – С. 68–82.
28. The Lanmuchang Tl deposit and its environmental geochemistry // Science in China, February 2000. – Series D. – V. 43 [Электронный ресурс]. URL: <http://earth.scichina.com:8080/sciDe/fileup/PDF/00yd0050.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
29. Reducing Methane Emissions from Coal mines in China – the potential for Coalbed Methane Development Public Review Draft // United States Environmental Protection Agency, July 1996. – Chapter 4. Profiles: selected regions with strong coalbed. – 182 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.epa.gov/cmop/docs/int004.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
30. HOFMANN, B. A Geochemistry and genesis of the Lengbach Pb–Zn–As–Tl–Ba mineralization, Binn Valley, Switzerland / B. A. Hofmann // Springer Verlag, 1996 [Электронный ресурс]. URL: http://link.springer.com/.../10.1007%2FBF02_280795 (Дата обращения 10.11.2014).
31. Историческая минералогия. Т. 3. Историческая минералогия подвижных суперпоясов : в 3 т. [Н. Н. Зинчук, А. Д. Савко, Л. Т. Шевырев]. – Воронеж : ВГУ, 2008. – 622 с.
32. Кусова, Ж. Г. Содержание и характер распределения элементов плеяды индия в рудах и минералах свинцово-цинковых месторождений Большого Кавказа / Ж. Г. Кусова, Г. В. Хетагуров [Электронный ресурс]. URL: <http://KazEdu.kz/referat/89932> (Дата обращения 10.11.2014).
33. Zimudang, Shuiyindong – Porter GeoConsultancy – Ore ... [Электронный ресурс]. URL: <http://www.portergeo.com.au/.../mineinfo.asp?mineid> (Дата обращения 10.11.2014).
34. GU, X. X. Hydrocarbon- and ore-bearing basinal fluids: a possible link between gold mineralization and hydrocarbon accumulation in the Youjiang basin, South China / X. X. Gu, Y. M. Zhang, B. H. Li, S. Y. Dong [et al.] // Miner. Deposita, 2012. – 47. – P. 663–682.
35. Stibnite: Stibnite mineral information and data. – Mindat [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mindat.org/show.php?id=3782&id=1> (Дата обращения 10.11.2014).
36. XIA, YONG. Geochemistry and Metallogenic Model of Carlin-Type Gold Deposits in Southwest Guizhou Province, China / Yong Xia, Wenchao Su, Xingchun Zhang and Janzhong Liu // 2 мая 2012 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intechopen.com/download/pdf/36465> (Дата обращения 10.11.2014).
37. ZHANG, ZHONGX preliminary discussion on the bio-metallogenesis of Tl deposits in the low-temperature minerogenetic province of southwest China / Zhong Zhang, BaoGui Zhang, Jing Hu, LinBo Yao & Ian YiFu Tian // Science in China. – Series D: Earth Sciences, 2007. – Science in China Press Springer-Verlag [Электронный ресурс]. URL: <http://earth.scichina.com:8080/sciDe/.../07yd0359.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
38. Зайцев, А. И. Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутии / А. И. Зайцев, А. Р. Энгин, Н. И. Ненашев [и др.]. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1992. – 248 с.
39. Чароит [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org> (Дата обращения 10.11.2014).

40. BOEV, BLAZO. Geology and mineralogy of Allchar Sb-As-Tl-Au deposit / Blazo Boev, Gligor Jovanovski, Petre Makreski // Posebno izdanie na Geologica Macedonica. – Македонско Geolojko Drujstvo Vtor Kongres na Geozite na Republika Makedonija. – Крушево, 2012. – № 3. – P. 215–232.
41. BOEV, BLAZO. Allchar Deposit in Republic of Macedonia – Petrology and Age Determination / Blazo Boev and Rade Jelenkovic // [Электронный ресурс]. URL: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/26094.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
42. Lorándite: Lorándite mineral information and data. – Mindat [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mindat.org/min-2434.html> (Дата обращения 10.11.2014).
43. Гремучка рудная зона, Юг России, Россия. Описание, минералы... [Электронный ресурс]. URL: <http://webmineral.ru/deposits/item.php?id=2473> (Дата обращения 10.11.2014).
44. CLINE, JEAN. Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models / Jean S. Cline, Albert H. Hofstra, John L. Muntean, Richard M. Tosdal, Kenneth A. Hickey // Economic Geology, 2005. – 100th Anniversary Volume. – P. 451–484.
45. JEWELL, PAUL. Geology and hydrothermal alteration of the Mercur gold deposit, Utah / Paul W. Jewell et W. T. Parry // Economic Geology, 1987. – V. 82. – P. 1958–1966.
46. Lulu cut, South Mercur Pit, Mercur District (Camp Floyd... [Электронный ресурс]. URL: <http://mindat.org/loc-20794.html> (Дата обращения 10.11.2014).
47. JOHNSON, MAUREEN. Silver Gold Deposits of Utah / Maureen G. Johnson // Washington: US Government Printing Office, 1973. – 26 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://pubs.usgs.gov/bul/1357/report.pdf> (Дата обращения 10.11.2014).
48. Lookout Pass Thallium prospect, Little Valley, Sheeprock Mts... [Электронный ресурс]. URL: <http://mindat.org/loc-4185.html> (Дата обращения 10.11.2014).
49. PAARS, WERNER. The new mineral species brodtkorpit, Cu₂HgSe₂, and the associated selenide assemblage from Tuminico, Sierra de Cacho, La Rioja, Argentina / Werner H. Paars, Andrew C. Roberts, Allan J. Criddle, Gerhard Amann, Ricardo J. Sureda // The Canadian Mineralogist, 2002. – Vol. 40. – P. 225–237.
50. LU, K. I. Geology and geochemistry of the Uchinotai-east ore deposit, Kosaka mine, Akita Prefecture, Japan // K. I. Lu. – Mining Geology, 1983. – 33. – P. 367–384.
51. Сайт о камнях – Авиценнит. Местонахождения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.samocvet.net/enc/avicennit> (Дата обращения 10.11.2014).
52. Thallium (EHC 182, 1996) [Электронный ресурс]. URL: <http://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc182.htm> (Дата обращения 10.11.2014).

Воронежский государственный университет

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

E-MAIL: SHEVPP@YANDEX.RU
Тел. 8 (473) 235-39-42

VORONEZH STATE UNIVERSITY

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

E-MAIL: SHEVPP@YANDEX.RU
TEL.: 8 (473) 235-39-42