

Източници на калай и регионална търговия през бронзовата епоха в Югоизточна Европа: данни от калаени изотопи

Уейн Пауъл, Артър Банкоф, Андреа Мейсън, Райън Матур, Александър Булатович, Войслав Филипович

Tin Sources and Regional Trade in the Bronze Age of Southeast Europe: Evidence from Tin Isotopes

Wayne Powell, Arthur Bankoff, Andrea Mason, Ryan Mathur, Aleksandar Bulatović, Vojislav Filipović

Въведение

Българските Стара планина и Родопи са богати на мед, злато, олово, сребро и цинк. Този факт до голяма степен е свързан с алпийския магматизъм (Ciobanu et al. 2002). Медните руди от този район са били експлоатирани от праисторическите култури още от 5000 г пр. Хр. (O'Brien 2014), с изчислени около 500 тона мед, добита от халколитните мини на Ай Бунар (Черных 1978a). Все пак липсата на значими по обем калаени руди, предполага, че този метал трябва да е внасян, за да осигурява производството на бронз в днешните български земи през праисторията. Широкомащабна трансрегионална търговия с калай е добре установена през късната бронзова епоха в Източното Средиземноморие (Bass 1986, Galili et al. 1986). Предвид близостта на България до Егейско море е вероятно това удобно географско разположение да е подпомагало импорта на калай. Добре документирани калаени руди обаче се срещат и в планините Ерцгебирге в Бохемия. Изказани са становища, че важна роля може да са имали и рудни находища в Динарските Алпи в Западна Сърбия. Тези европейски руди може да имат значителен принос към производството на бронз в региона на Долен Дунав (виж Несел и Перница в този том).

Европейският калай и бронзовата епоха

Находища от благородни и неблагородни метали (на-

Introduction

The Balkan and Rhodope mountains of Bulgaria are rich in copper, gold, lead, zinc, and silver, for the most part associated with Alpine magmatism (Ciobanu et al. 2002). Copper ores from this region were exploited by prehistoric cultures as early as 5000 BCE (O'Brien 2014), with an estimated 500 tonnes of copper metal produced from the Chalcolithic mines of Ai Bunar alone (Черных 1978a). However, lacking volumetrically significant ores of tin, this metal must have been imported to supply Bulgarian bronze production in present day Bulgarian lands throughout Prehistory. Large-scale, trans-regional trade of tin was well established in the Late Bronze Age of the Eastern Mediterranean (Bass 1986; Galili et al. 1986). Given Bulgaria's proximity to the Aegean, it is probable that this appropriate geographic location contributed to Bulgaria's tin imports. However, well-documented tin ores occur in the Erzgebirge Mountains of Bohemia. Some opinions exist about the important role of the ore deposits in the Dinaric Alps of west Serbia. These European ores may have contributed significantly to bronze production in the Lower Danube region (cf. Nessel, Pernicka, this volume).

European Tin and the Bronze Age

Deposits of both precious and base metals

пример злато и мед) се срещат във всички планински пояси в световен мащаб, защото техният генезис е свързан с типичните магматични процеси, които се случват на границите на отделните плочи (Robb 2012). За разлика от тях, находищата на калай са много по-малко и географското им разпределение е неравномерно и разпокъсано. Това е така, защото образуването на калаените руди изисква съвпадение на необичайно обогатяване на калай в долната кора и нехарактерен топлинен привнос от мантията (Romer, Kroner 2016). Всички древни европейски места за добив на калай са свързани с късни вариски гранити (около 300 Ma) и са ограничени в разпространението си в Западна и Централна Европа. Находищата в Ерцгебирге (Бохемия) са най-близките вариски руди до България, разположени на около 1100 км от днешна София. Документиран е средновековен рудодобив от находищата в Ерцгебирге (Taylor 1983).

В допълнение, географската корелация на рудите от Ерцгебирге и *Унетичката* култура, както и характерните метални предмети, предполагат че калаят за тези артефакти е добиван локално (Bouzek et al. 1989, Nessel et al. 2015), вероятно от лесни за извличане речни разсипни калаени находища, като се има предвид, че не са документирани мини от бронзовата епоха.

Известни са няколко по-малки калаени рудопроявления, които се намират в по-младия Алпийски пояс (ок. 20 Ma), включително Тоскана, Южна Турция и Западна Сърбия. Въпреки че тези примери за алпийски орудявания се смятат за твърде малки, за да бъдат от икономически интерес днес, те биха могли да са представлявали значителен ресурс на руди за маломасштабните праисторически минни дейности. За калая в Западна Сърбия започва да се говори от средата на XX век. Калаят се обсъжда като възможен суровинен източник за бронзовата епоха (напр. Muhly 1985, Penhallurick 1986, McGeehan-Liritzis, Taylor 1987, Durman 1997, Harding 2000). Подробно геохимично изследване на водоизточниците около планината Цер е определило, че натрупванията на калай се ограничават до три основни потока на южния хълм на планината (Huska et al. 2013). В същото време при археологически издирвания са регистрирани многобройни селища от късната бронзова епоха по речните тераси, в непосредствена близост до всеки един от тези калайсъдържащи потоци. От друга страна, не е открито нито едно селище от бронзовата епоха на терасите, близки до реките, бедни на тези минерали (Huska et al. 2013).

(e.g., gold and copper) occur in all mountain belts globally, because their genesis is related to typical magmatic processes that occur at plate boundaries (Robb 2012). In contrast, tin deposits are far fewer in number, and their geographic distribution is patchy and discontinuous. This is because the development of tin ores requires the coincidence of unusual enrichment of tin in the deep crust and atypical heat input from the mantle (Romer, Kroner 2016). All of Europe's historic tin-mining camps are associated with late-stage Variscan granites (ca. 300 Ma), and are limited in their distribution to western and central Europe. The deposits of the Erzgebirge (Ore Mountains) of Bohemia are the closest Variscan ores to Bulgaria, lying approximately 1,100 km from present-day Sofia. Medieval mining of deposits of the Erzgebirge has been documented (Taylor 1983). In addition, the geographic correlation of the Erzgebirge ores and *Únětice* culture, along with its characteristic metal objects, suggests that the tin for these artefacts was mined locally (Bouzek et al. 1989; Nessel et al. 2015), possibly from easily extractable fluvial placer cassiterite deposits, given that no Bronze Age bedrock mines have been documented.

Several smaller tin occurrences are known to lie within the younger Alpine belt (ca. 20 Ma), including Tuscany, southern Turkey, and western Serbia. Although these examples of Alpine mineralization are considered too small to be profitable today, they could have provided significant ore resources to small-scale prehistoric mining operations. Tin has been known to occur in West Serbia since the mid-20th century, and has been discussed as a possible source of Bronze Age tin (e.g., Muhly 1985; Penhallurick 1986; McGeehan-Liritzis, Taylor 1987; Durman 1997; Harding 2000). Detailed geochemical survey of the streams around Mt. Cer determined that tin accumulations were limited to three major streams on the south flank of the mountain (Huska et al. 2013). At the same time, pedestrian archaeological survey discovered highly disturbed Late Bronze Age habitation sites on river terraces adjacent to each of these tin-bearing streams, whereas none were found on terraces above nearby barren rivers (Huska et al. 2013).

Cassiterite (SnO_2) is the primary tin ore mineral. Being dense (6.9 g/cm^3), hard (6–7 Mohs

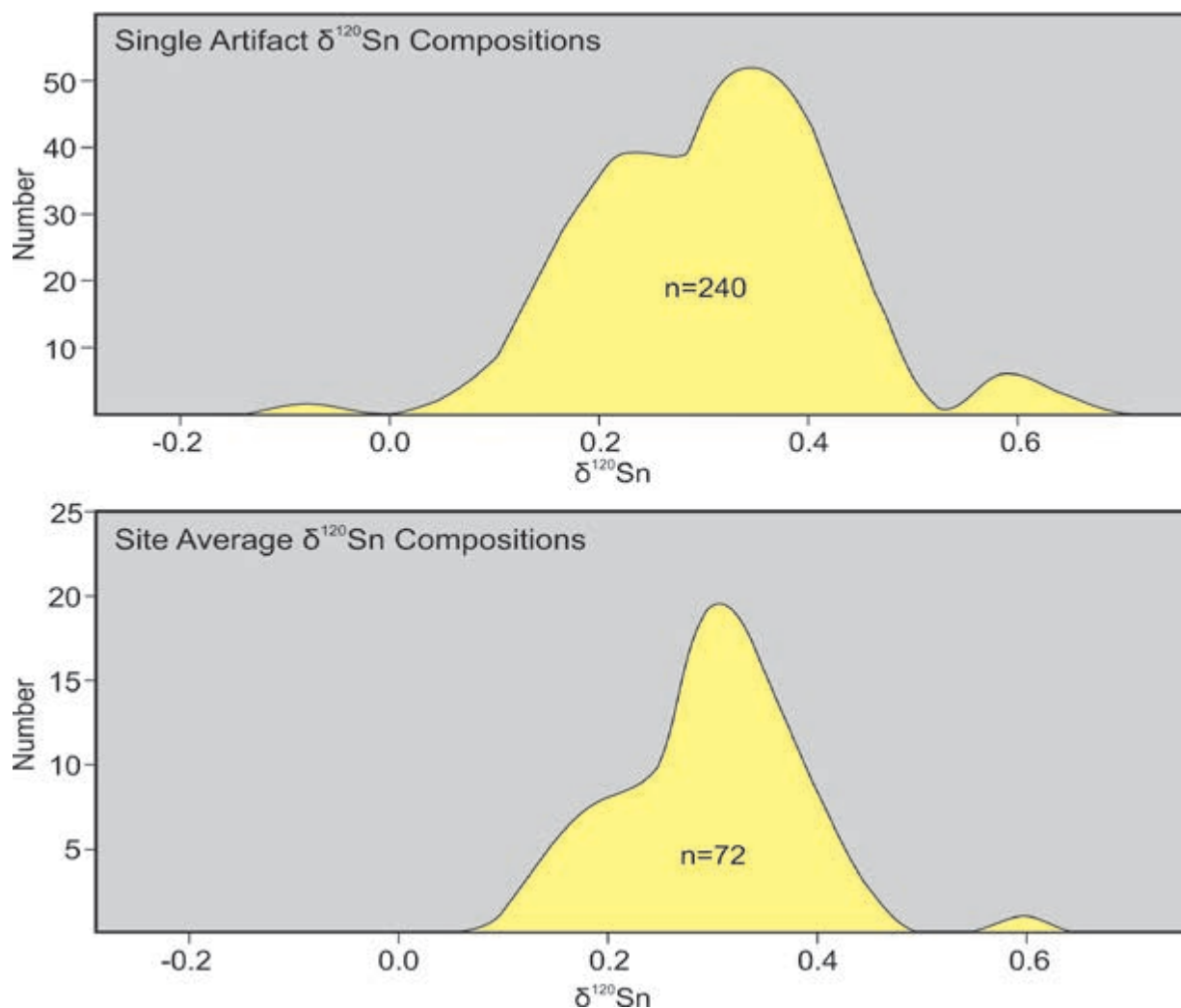


Обр. 1. Промиване и набогатяване на каситерит с помощта на портативен улей и на панер по поречието на Милинска река

Fig. 1. Portable sluice and pan collecting and concentrating cassiterite in the Milinska River

Каситеритът (SnO_2) е първичен калаен руден минерал. Бидейки плътен ($6,9 \text{ g / cm}^3$), твърд (6-7 твърдост по Мос) и химически стабилен на външни въздействия, детритусният каситерит може да се акумулира и концентрира в седименти от изветрели руди надолу по теченията (разсипни находища). Флувиалните находища се образуват в реки и потоци, където нивата на енергия намаляват по градиент надолу. В такива находища концентрациите на каситерит обикновено се ограничават до едър пясък и чакъл (Garnett, Bassett 2005). Финозърненостият и неконсолидиран характер на разсипните находища позволява сравнително лесното извличане на руда с примитивна минна технология като промиване в панер и драга. Тези прости техники бяха използвани наскоро за добиване на руда от река Милинска (Обр. 1) и за провеждане на геохимични проучвания на регионално ниво. През бронзовата епоха хората, които са добивали руда от речни находища, вероятно са захранвали пясък през драги, направени от кухи стволове на дървета, покрити отвътре с животински кожи, които да улавят фините зърна от тежки минерали като злато или каситерит (Rapp 2009). За съжаление, очевидни доказателства за праисторическо минно дело както в Цер, така и в Ерцгебирге липсват, защото добиването на разсипен алувиален калай в праисторията оставя малко или никакви

hardness), and chemically stable under surface conditions, detrital cassiterite may accumulate and concentrate in sediments downstream from weathered bedrock ore sources (placer deposits). Fluvial placers are deposited in rivers and streams, where energy levels decrease downstream and down gradient. In such deposits, cassiterite concentrations are usually confined to coarse sand and gravel (Garnett, Bassett 2005). The fine-grained and unconsolidated nature of placer deposits allow for relatively easy ore extraction with primitive mining technology such as panning and sluicing. Simple sluicing and panning techniques have been used recently to obtain ore samples from the Milinska River (Fig. 1), and to conduct geochemical exploration surveys regionally. In the Bronze Age, placer miners likely fed sand through sluices formed from hollowed tree trunks that were lined with animal hides to trap the fine-grained particles of heavy minerals such as gold or cassiterite (Rapp 2009). Unfortunately, tangible evidence of these prehistoric mining activities at both Mt. Cer and the Erzgebirge is lacking because prehistoric streaming for alluvial tin leaves little or no trace of extraction activities at the mine site (Thorndy-



Обр. 2. Хистограми на $\delta^{120}\text{Sn}$ състав (изотопи) от бронзови артефакти, базирани на състава на отделни артефакти ($n=240$) и на основни стойности от отделните археологически обекти ($n=72$)

Fig. 2. Histograms of $\delta^{120}\text{Sn}$ composition of bronze artifacts based on composition of single artifacts ($n=240$) and mean values from each archaeological site ($n=72$)

следи от екстракцията на мястото, използвано за добив (Thorndycraft et al. 1999; Thorndycraft et al. 2004).

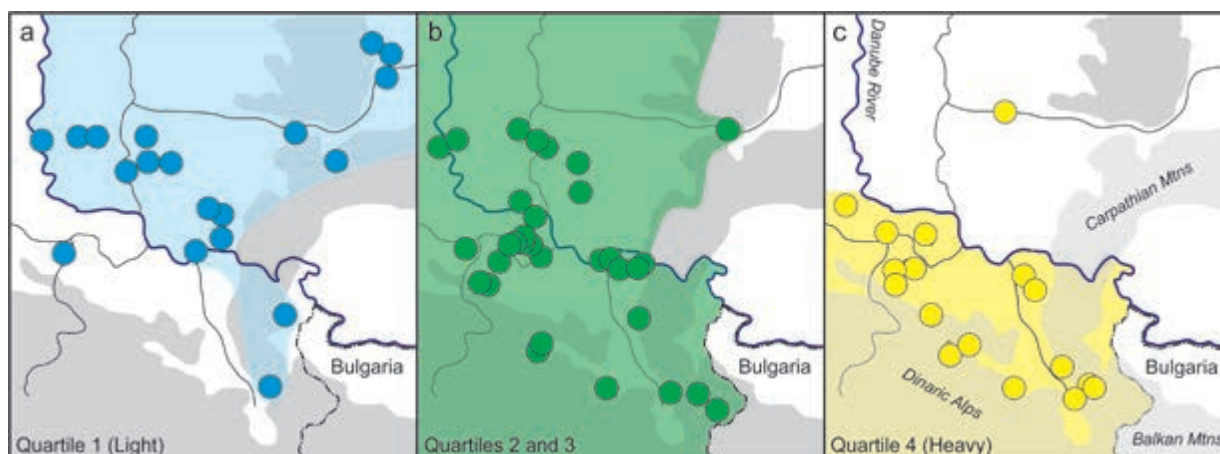
Калаено-изотопният анализ като инструмент за проследяване на произход

През последните тридесет години популярността на изотопните анализи като средство за осигуряване на характерни „отпечатъци“ на бронзови артефакти, които могат да бъдат отнесени към техните вероятни източници на руда нараства. Традиционно оловните изотопи са най-използвани за изследване на произхода на мед, тъй като оловото се среща като микропримеси в много бронзови предмети. Оловно-изотопната система е добре известна и аналитичните техники за нейното изследване са добре развити. Тази система обаче не може да се използва

craft et al. 1999; Thorndycraft et al. 2004).

Tin Isotopes as a Provenance Tool

Within the past thirty years, isotopic analysis has grown in popularity as a means of providing „fingerprints“ of bronze artefacts that can be matched to their parental ore sources. Traditionally, lead isotopes have been the most used for studying the provenance of copper, since lead occurs as a minor impurity in many bronze objects. The lead isotopic system is well known, and analytic techniques for its study are well developed. However, this system cannot be used to provenance tin in bronze artefacts, in which the lead composition is inherited from the copper ore.



Обр. 3. Географско разпространение на $\delta^{120}\text{Sn}$ стойностите от археологически обекти, базирани на групи на увеличаващи се $\delta^{120}\text{Sn}$. а) Група 1 представя селища, в които доминира сръбски калай; б) Група 2 и 3 представя селища със смесени сръбски и централноевропейски сигнатури на калая; в) Група 4 представя селища, в които доминира централноевропейски калай

Fig. 3. Geographic distribution of mean $\delta^{120}\text{Sn}$ values of archaeological sites based on quartiles of increasing $\delta^{120}\text{Sn}$. a) Quartile 1 comprising sites in which Serbian tin is predominant; b) Quartiles 2 and 3 comprising sites with mixed Serbian and Central European tin signatures; c) Quartile 4 comprising sites in which Central European tin is predominant

за проследяване произхода на калай в бронзови артефакти, при които съставът на оловото е наследен от медната руда.

С десетте си изотопа с маси от 112 до 124 amu (atomic mass unit), калаеноизотопната система се изследва като потенциално средство, чрез което да се определи произходът на калаените руди, използвани за производството на бронзови артефакти. Ранните опити за изследване на калаените изотопи са помрачени от широките граници на грешките и слабата възпроизводимост (De Laeter, Jeffrey 1965, De Laeter, Jeffrey 1967; McNaughton, Loss 1990; McNaughton, Rosman 1991; Clayton et al. 2002). Въпреки това с появата на по-добри инструменти, по-специално мултиколекторната масспектрометрия с индуктивно свързана плазма (MC-ICP-MS), изотопният анализ на калай в бронз и каситерит стана възможен. Няколко изследвания, използващи MC-ICP-MS, откриват вариации в изотопния състав на калай в бронз и каситерит (Nowell et al. 2002; Haustein et al. 2010; Nickel et al. 2012; Balliana et al. 2013; Yamazaki et al. 2013), а Мейсън и колектив (2016) демонстрира, че калаените изотопи могат ефективно да определят като състав и като географско местоположение различни популации, които могат да бъдат причислени към различни източници на руда.

Изотопен състав на калай в артефакти от Централните Балкани

Като бе използвана за основа работата на Мейсън

With its ten isotopes over a mass range of 112 to 124 amu, the tin isotope system has been investigated as a potential means by which to determine the provenance of tin ores that were used to produce bronze artefacts. Early attempts to study tin isotopes were marred by large error ranges and poor reproducibility (De Laeter, Jeffrey 1965, De Laeter, Jeffrey 1967; McNaughton, Loss 1990; McNaughton, Rosman 1991; Clayton et al. 2002). However, with the advent of better instrumentation, especially multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (MC-ICP-MS), isotopic analysis of tin in bronze and cassiterite has become feasible. Several studies using MC-ICP-MS detected variations in the isotopic composition of tin in bronze and cassiterite (Nowell et al. 2002; Haustein et al. 2010; Nickel et al. 2012; Balliana et al. 2013; Yamazaki et al. 2013), and Mason et al. (2016) demonstrated that tin isotopes could effectively define compositionally and geographically distinct populations that could be attributed to different ore sources.

Isotopic Composition of Tin in Central Balkan Artefacts

Expanding upon the work of Mason et al. (2016), a total of 240 bronze artefacts were sampled from

и колектив (2016 г.), бяха взети проби от общо 240 бронзови артефакта от 72 места в Сърбия, Румъния (Трансилвания и Банат) и Източна Босна. Проби, почистени от корозионни продукти, бяха разтворени в ултрачиста царска вода при 100°C в продължение на 5 часа, в затворени тefлонови контейнери. Бяха получени пречистени калаени разтвори по хроматографския метод на Балиана и колектив (Balliana et al. 2013).

Калаените изотопи бяха анализирани на MC-ICP-MS (Isoprobe) в университета в Аризона. Конфигурацията на съдовете беше подобна на Балиана и колектив (Balliana et al. 2013). Всички проби бяха измерени с приблизително 150 ppb Sn, което генерира сигнал от 3.5 V на ^{120}Sn . Масовото отклонение беше коригирано с помощта на ICP-MS Sb стандарт, като към всички проби беше добавен трасерен разтвор – 200 ppb Sb. Това даде ^{121}Sb сигнал от 1,6 V. Всички стойности бяха коригирани при използване на експоненциалния закон (коефициент за бета корекция) за масово отклонение (Marechal et al. 1999). След това пробите бяха подредени при използване на метода стандарт-проба-стандарт. Беше използван стандарт NIST 3161a и всички отчетени стойности бяха изчислени чрез използване на следния израз:

$$\delta^{1xx}\text{Sn}\% = \left(\frac{\left(\frac{^{1xx}\text{Sn}}{^{116}\text{Sn}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{1xx}\text{Sn}}{^{116}\text{Sn}} \right)_{\text{NIST 3161}}} - 1 \right) * 1000$$

Пълните процедурни 1σ грешки за анализите са $\delta^{120}\text{Sn} = 0,04\%$ и $\delta^{124}\text{Sn} = 0,08\%$ (0,01% за amu). Очевидно е фракциониране на основата на маса, тъй като наклонът на $S^{124}\text{Sn}$ спрямо $S^{120}\text{Sn}$ е 2 с $r^2 = 0.94$.

Средният калаено-изотопен състав беше изчислен за всеки от 72-та археологически артефакта и статистическото разпределение на средните стойности на всеки от тях показва смесването на две припокриващи се, но и различаващи се като състав популации с нормална дистрибуция (Обр. 2). За да се идентифицират археологическите артефакти, доминирани от всеки от двата типа състав на калая, данните бяха разделени на 4 групи: **група 1** (най-ниско $\delta^{120}\text{Sn}$), доминиран от по-малко фракциониран калай; **група 4** (най-висок $\delta^{120}\text{Sn}$), доминиран от по-фракциониран калай; **групи 2 и 3**, които се състоят от смесени състави на калая. Не са установени тенденции на изотопния състав спрямо възраст (бронзова епоха Б – Халшат А), функция (украшение или инструмент) или контекст (гроб, популация, селище). Въпреки това **групи 1 и 4** показват различно географско разпределение. Само с едно изключение, артефактите с най-лекия калаен изотопен състав са разположени на север от река Дунав, в рамките на

72 sites across Serbia, Romania (Transylvania and Banat), and eastern Bosnia. Samples free of patina were dissolved in ultrapure aqua regia at 100°C for 5 hours in closed teflon containers. Purified tin solutions were prepared using the chromatography method of Balliana et al. (2013). Tin isotopes were measured on the MC-ICP-MS (Isoprobe) at the University of Arizona. Cup configurations were similar to Balliana et al. (2013). All samples were measured at approximately 150 ppb Sn which generated a 3.5 V signal on ^{120}Sn . Mass bias was corrected for by using an ICP-MS Sb standard in which all samples were spiked at 200 ppb Sb. This produced a ^{121}Sb signal at 1.6 V. All values were corrected using the exponential law (Beta correction factor) for mass bias (Marechal et al. 1999) and then samples were bracketed using standard-sample-standard method. NIST 3161a was used to bracket samples and all reported values are calculated using the following expression:

$$\delta^{1xx}\text{Sn}\% = \left(\frac{\left(\frac{^{1xx}\text{Sn}}{^{116}\text{Sn}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{1xx}\text{Sn}}{^{116}\text{Sn}} \right)_{\text{NIST 3161}}} - 1 \right) * 1000$$

Whole procedural 1σ errors for analysis are $\delta^{120}\text{Sn} = 0.04\%$ and $\delta^{124}\text{Sn} = 0.08\%$ (0.01% per amu). Mass dependent fractionation is evident, as the slope of $\delta^{124}\text{Sn}$ vs. $\delta^{120}\text{Sn}$ is 2 with an $r^2 = 0.94$.

Mean tin isotope compositions were calculated for each of the 72 sites, and the statistical distribution of these site averages indicate a mixing of two overlapping but distinct compositional populations with normal distributions (Fig. 2). To identify sites dominated by each of the two tin compositions, the data was divided into quartiles: Quartile 1 (lowest $\delta^{120}\text{Sn}$) dominated by less fractionated tin; Quartile 4 (highest $\delta^{120}\text{Sn}$) dominated by more fractionated tin; Quartiles 2 and 3 consisting of mixed tin compositions. No trends in isotopic composition were found relative to age (Bronze B to Hallstatt A), function (ornament or tool), or context (grave, population, settlement). However, Quartiles 1 and 4 displayed distinct geographic distributions. With only one exception, artefacts with the lightest Sn isotopic composition lie north of the Danube River, within Transylvania, and within the Carpathian and Balkan Mountains on the Serbian-Bulgarian

Трансилвания и в Карпатите и Стара планина на сръбско-българската граница (Обр. 3а). За разлика от тях, всички, освен един от археологическите обекти с бронз, съдържащи изотопно най-тежкия калай, са разположени на юг от река Дунав (Обр. 3с).

Това разделение по оста север-юг в състава на калая в бронзовите артефакти би могло да съответства на характеристиките на регионалната търговия с калай, който е добит от два различни източника – един на север и един на юг. Като имаме предвид, че характерен калаен изотопен състав е свързан с южната част на Сърбия, където се намира планината Цер, възможно е рудата от днешна Западна Сърбия да е осигурявала по-голямата част от калая в района на юг от Дунав. Въз основа на съобщенията на Тату (Tatu 1992) и Хиропану и Феърхърст (Hiropanu, Fairhurst 2014) за наличието на каситерит в скалите, Мейсън и колектив (Mason et al. 2016) предполагат, че по-лекият по състав калай, открит в Трансилвания и Банат, може да е бил свързан с руди, изкопани по притоци на река Муреш в Румъния.

Въпреки това, геохимичното проучване, подобно на това, проведено от Хуска и колектив (Huska et al. 2013), имащо за цел да определи степента на минерализация на калай в Цер, не успя да открие наличие на каситерит в потоците в планините Хигис близо до Радна и в района на Градища Мунчелулуй, близо до Орацея. Въз основа на тези отрицателни резултати, както и характеристиките на бронза с най-леки изотопни на калая от Беч и Банат в южно-унгарската равнина, както и в Трансилвания, е по-вероятно този калай да е бил извлечан от находищата на Ерцгебирге. Ново изследване на Несел и колектив (Nessel et al. 2014) показва, че каситеритът от Ерцгебирге съвпада по изотопни характеристики с артефакти от Унетицката раннобронзова култура свидетелства, че този район е бил действащ минен регион за добив на калай в праисторията.

Търговията с калай по Среден и Долен Дунав

Местоположението на Цер предполага воден (респективно речен) маршрут, като най-вероятен. Това означава използване на реките и притоците в района (Милинска, Ядар, Колубара) за пренасяне на материал от планинските рудни находища до по-големите реки (Дрина, Сава, Дунав), граничещи с Панонската равнина (Обр. 4). Речната локация на поголеми археологически обекти от бронзовата епоха също подсказват това (Kristiansen, Earle 2015). Използването на транспортни превозни средства с колела или транспортирането с животни по артериите

border (Fig. 3a). In contrast, all but one of the archaeological sites with bronze containing the isotopically heaviest tin are located south of the Danube (Fig. 3c).

This marked north-south divide in tin composition of bronze artefacts, could be consistent with the characteristics of the regional trade of tin that was mined from two different sources, one to the north and one to the south. Given that a distinct tin isotopic composition is associated with southern Serbia, where Mt. Cer is located, it is likely that ore from present-day west Serbia provided the majority of the tin to the region south of the Danube. Based on reports of the presence of bedrock-hosted cassiterite by Tatu (1992) and Hiropanu and Fairhurst (2014), Mason et al. (2016), suggested that the lighter tin composition found in Transylvania and the Banat may have been associated with ores mined along tributaries of the Mureş River in Romania. However, geochemical prospecting, similar to that conducted by Huska et al. (2013) to define the extent of tin mineralization at Mt Cer, failed to detect the presence of cassiterite in target streams in the Highiş Mountains near Radna and the Grădiştea Muncelului region near Orăştie. Based on this negative finding, and the broad extent of the isotopically light tin signature in bronzes across the Bačka and Banat of the southern Hungarian Plain, as well as Transylvania, it is more likely that this tin was mined from the deposits of the Erzgebirge. Recent work by Nessel et al. (2014) that isotopically matched Erzgebirge cassiterite with Early Bronze Age Ūnětice artefacts attest to this region as an active tin mining region in prehistory.

Tin Trade in the Middle and Lower Danube

The location of Mt. Cer makes a waterborne (respectively a river-following), route, the most probable. This would utilize the area's rivers and tributaries (Milinska, Jadar, Kolubara) to convey material from the mountainous ore locations to the larger rivers (Drina, Sava, Danube) bordering the Pannonian Plain (Fig. 4). The riverine locations of the larger Bronze Age sites may hint at this (Kristiansen, Earle 2015). From the Drina/Sava or Sava/Danube routes confluence, wheeled vehicles or animal transport as a hypothesis could be suggested for



Обр. 4. Търговски трасета на централноевропейски и сръбски калай, базирани на географските вариации на $\delta^{120}\text{Sn}$ състав (изотопи) на бронзови артефакти (съобразно основните стойности от различни археологически обекти)

Fig. 4. Trade routes of Central European and Serbian tin based on geographic variations in the $\delta^{120}\text{Sn}$ composition of bronze artifacts (mean values from each archaeological site)

Дрина/Сава и Сава/Дунав може да се предположи като хипотеза за пренасянето на материал на север по плоския терен. Подобен маршрут би предотвратил блатистите терени от разливите на Тиса-Дунав и коварните кални тераси на Южен Банат на изток и би осигурил метал (калаена руда, слитъци или завършени бронзови артефакти) за района на днешна Западна Войводина. За да бъде определен обхватът на търговията със сръбски калай, са необходими анализи на артефакти от северната част на Панония (Унгария) и от региона на Горен Дунав (Австрия).

Разпространението на централноевропейски калай е по-широко от това на сръбския, който е единствен източник за Трансилвания и югоизточен Банат. Търговията с други стоки като сол, стъкло и кехлибар между Трансилвания и Централна/Северна Европа е доказана (Kavruk, Sfintu 2012; Varberg et al. 2016). Централноевропейската руда/калай би била транспортирана надолу по река Дунав. В южната част на района, на северозапад от Будапеща, материалите може да са били пренасяни по сушата директно към Трансилвания (Обр. 4). Освен това, маршрут, минаващ непосредствено по протежението на река

moving the material northward along the flat terrain. Such a route would avoid the marshy Tisa-Danube interfluvium and the treacherous mud flats of the southern Banat to the east and would provide metal (tin ore, ingots, or finished bronze artefacts) to the sites of the present-day western Vojvodina. Analysis of artefacts from the northern Pannonian Plain (Hungary) and the Upper Danube region (Austria) are required to determine the extent of trade of Serbian tin.

The distribution of Central European tin is broader than that from Serbia, being the sole source for Transylvania and the south-eastern Banat. Trade of other commodities such as salt glass, and amber between Transylvania and central/northern Europe has been demonstrated (Kavruk, Sfintu 2012; Varberg et al. 2016). Central European ore/tin would have been transported down the Danube. At its southern bend north of Budapest, materials may have been carried overland eastward directly to Transylvania (Fig. 4). Additionally, a route continuing directly along

Дунав, щеше да достави калай от Ерцгебирге в южната Панонска равнина и би имало метал както от централноевропейски, така и от сръбски източници (Обр. 3b).

Няколко физикографски особености пречат на транспортирането през Банат до долината на Долен Дунав. Сериозно препятствие са пясъците на Делиблатските пясъчни наноси и недренираните земи на Южен Банат на запад (Bankoff 1977; Ehrich, Bankoff 1992), Карпатите и бързеите на Железни врата. Двата възможни маршрута за избягване на Железни врата включват кратко, но трудно транспортиране от Оршо̀ва до Турну Северин или от долината на Мора̀ва до Ниш, последвано от пренос към река Тимок, която се влива в Дунав северно от Видин. Докато археологическите обекти, в които преобладава сръбският калай, лежат почти изключително на юг от река Дунав, повечето места, свързани с артефакти от централноевропейски руди, се намират на север от тази река. Само в района на Тимок археологически обекти със сръбски калай и такъв от Ерцгебирге се откриват в непосредствена близост един до друг (Обр. 3a и 3в), което свидетелства за важността на този маршрут между днешни Сърбия и България през късната бронзова епоха.

Причисляването на наблюдаваните изотопни клъстери от артефакти към съвременни „култури“ или „групи“ изисква допълнително проучване. Взетите проби от средната бронзова епоха са предимно от гробове, отнесени в Сърбия и Войводина към културите *Ватина* и *Белегиш I* и свързаната с тях култура на инкрустираната керамика, докато пробите от късната бронзовата епоха са предимно от колективни находки от културата *Белегиш II* или „културата на канелираната керамика“ (Tasić 1984). Макар и с някои хронологически разлики, тези два типа керамика често се срещат заедно по такъв начин, че приемствеността е трудно да бъде отречена (Tasić 2001). Керамиката от бронзовата епоха, откривана в могилите в Западна Сърбия, най-близко до рудните находища на Цер, има форми и инкрустирана украса, близки до тези, откривани в източната част на Банат, Средния и Долен Дунав (Filipović 2013), както и в части от днешна Западна и Северозападна България. Бъдещи изследвания на съотношенията на изотопите на калая и на географското разпространение на различни метални артефакти ще дадат допълнителна идея за динамичните взаимоотношения в тези части на Югоизточна Европа през късната бронзова епоха.

the Danube would have delivered Erzgebirge tin to the southern Pannonian Plain. Here metal from Central European and Serbian sources would both be present (Fig. 3b).

Several physiographic features impeded transport across the Banat and into the Lower Danube Valley. Serious obstacles are the sands of the Deliblatska Peščara and the undrained lands of the southern Banat to its west (cf. Bankoff 1977; Ehrich, Bankoff 1992), the Carpathians, and the rapids of the Iron Gates (Djerdap Gorge). Two possible routes to avoid the Iron Gates include, a short but difficult portage from Orsova to Turnu-Severin, or up the Morava Valley to Niš, followed by a portage to the Timok River, which enters the Danube north of Vidin. Whereas sites in which Serbian tin is predominant lie almost exclusively to the south of the Danube, most sites associated with artefacts made from Central European ores occur north of this river. Only in the Timok region do sites of Serbian and Erzgebirge tin occur in close proximity (Fig. 3a and 3c), attesting to the importance of this route between Serbia and Bulgaria in the later Bronze Age.

The attribution of these observed isotopic ratio clusters to artefacts of contemporaneous „cultures“ or „groups“ requires further study. The Middle Bronze Age samples come primarily from graves attributed (in Serbia and the Vojvodina) to the *Vatin* or *Belegiš I* „culture“ and associated incised-ware styles, while the later Bronze Age samples are primarily found in hoards of *Belegiš II* or other „channelled“ or „fluted“ ceramic cultures (Tasić 1984). While there is some chronological distinction between the two types of find-spots, these two types of pottery are often found together in such a way that continuity is difficult to deny (Tasić 2001). The Bronze Age pottery found in the tumuli of West Serbia, closest to the Mt. Cer ore sources, has incusted decoration and ceramic forms quite close to those found in the eastern Banat and along the Middle and Lower Danube (Filipović 2013), as also in parts of present-day Western and North-western Bulgaria. Future study of the isotopic tin ratios and the geographic distribution of different metal objects will provide another clue to the dynamic relationships in these parts of South-eastern Europe in the Late Bronze Age.