

# МИНЕРАЛОГИЯ, КРИСТАЛЛОГРАФИЯ. ГЕОХИМИЯ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 992/904: 552.08

## Костные останки из могильников Перми Вычегодской (XI–XIV вв.): результаты мультидисциплинарных научных исследований и эколого-исторические реконструкции

В. И. Силаев<sup>а</sup>, Э. А. Савельева<sup>б</sup>, А. Ф. Хазов<sup>а</sup>, С. Н. Шанина<sup>а</sup>,  
И. В. Смолева<sup>а</sup>, Е. М. Тропников<sup>а</sup>, Б. А. Макеев<sup>а</sup>, Д. В. Киселёва<sup>с</sup>

<sup>а</sup>Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

167982, Сыктывкар, Первомайская, 54. E-mail: silaev@geo.komisc.ru

<sup>б</sup>Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН

167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24. E-mail: eleonorasav@yandex.ru

<sup>с</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН

620110, Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, 15. E-mail: podarenko@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 31 августа 2022 г.)

С применением широкого комплекса современных минералогических, физико-химических и изотопных методов исследована представительная коллекция человеческих костей из семи могильников вычегодских пермян XI–XIV вв. Проанализированы микростроение костей, их химический и нормативно-минеральный состав, содержание микроэлементов, нанопористость органо-минерального композита, состав и свойства биоапатита и костного коллагена. Определены принципиальные различия в свойствах сырых и так называемых кальцинированных костей. На основании изотопных данных по биоапатиту и коллагену сырых костей реконструированы климатические условия существования вычегодских пермян и рационы их питания.

Ключевые слова: археология, могильники, Пермь Вычегодская, костные остатки и минералогическо-геохимические исследования, эколого-исторические реконструкции.

DOI: 10.17072/psu.geol.21.4.296

*«Известная мне наука подразделяется  
на физику и коллекционирование»  
Э. Резерфорд (1871–1937)*

### Введение

В отличие от истории археология никогда не была, по выражению великого физика-экспериментатора, только научным «коллекционированием», поскольку основу археологии всегда составляли не только материальные объекты – орудия труда, оружие, бытовые изделия, украшения, предметы культов, костные остатки животных, но и результаты

их исследований. В России, например, такие исследования активно проводились уже во второй половине XIX в. (Формозов, 1983). А в XX в. это оформилось в отдельное научное направление, сначала определявшееся как археологическая петрология или геоархеология (Петрунь, 1961; Жамойда, 2006), а затем как археоминералогия (Mitchell, 1986; Юшкин, 2005). В рамках последней объектами исследований первоначально считались ору-

дия, предметы, металлические и керамические изделия (Юшкин, 2005<sub>2</sub>). Однако со временем оказалось, что не менее, а может быть и более информативными для археологии являются костные останки людей, результаты изучения которых экспериментальными методами дают непосредственный выход на решение вопросов палеоэкологических условий существования и развития человеческих сообществ. В настоящее время в археологической науке происходит настоящая революция, обусловленная внедрением в археологическую практику широкого комплекса прецизионных физико-химических, минералого-геохимических и изотопных методов (Кораго, 1992; Добровольская, 2005; Смирнов и др., 2009; Святко, 2016; Силаев, 2016). Такая, по выражению академика Н. П. Юшкина, интервенция современных методов анализа создает предпосылки для вывода археологии на совершенно новый уровень развития, на котором она, оставаясь гуманитарной наукой, станет, наконец, частью экспериментального естествознания.

### Археологический контекст

Первые комплексные геолого-археологические исследования древностей Европейского Северо-Востока относятся к 1960-м гг. Начало им было положено В. И. Канивцом и Б. И. Гуслицером, которые открыли и изучили первые палеолитические памятники в Печорском Приуралье (Гуслицер, Канивец, 1965). В эти же годы были начаты комплексные исследования Древнего Синдора (Буров, 1967) и древней металлургии в бассейнах рр. Печоры (Канивец, 1964) и Вычегды (Буров, 1967; Савельева, 1971).

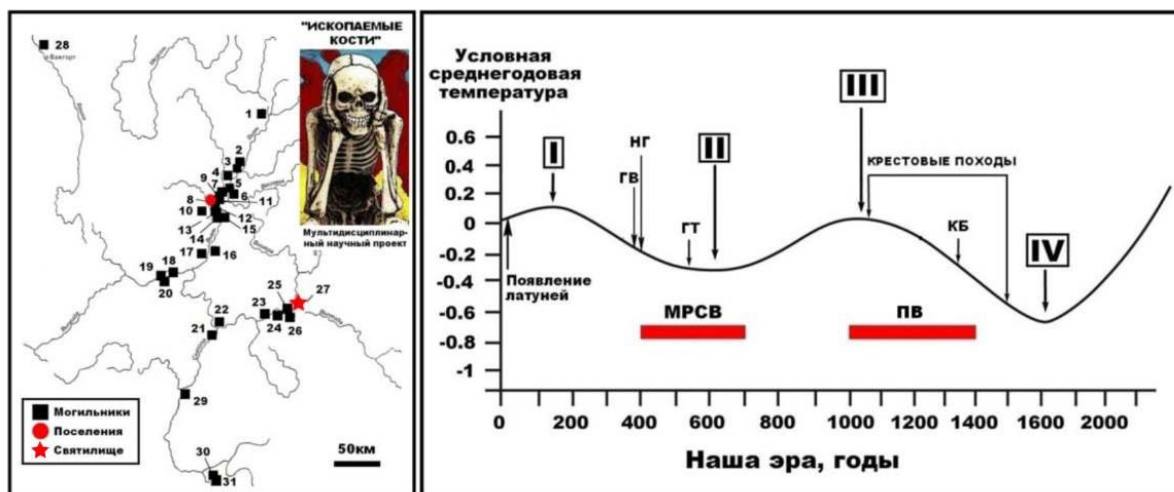
Планомерное систематическое изучение древностей предков коми-зырян, известных в письменных источниках под именем «Пермь Вычегодская», началось с 1960-х гг. Материалы раскопок соответствующих памятников (рис. 1) позволили выявить своеобразие вымской культуры вычегодских пермян в комплексе таких важнейших этноопределяющих признаков, как обряд погребения, украшения костюма, керамическая посуда (Савельева, 1971; Савельева, 1987).

Одной из выразительных особенностей вымской культуры является погребальный

обряд, для которого характерно сосуществование способов труположения и трупосожжения. При первом способе захоронения засыпь погребения составлял однородный смешанный песок. Костные останки, вещи погребального инвентаря располагались на дне могильной ямы, за исключением фрагментов керамических сосудов и обломков железных изделий, залегавших в засыпи могильной ямы на разной глубине. Возможность антропологического определения костных остатков в таких погребениях затруднена из-за их неудовлетворительной сохранности в песчаных грунтах. В частности, в могильниках вымской культуры к настоящему времени установлена гендерная принадлежность и возраст только для 23 погребенных – среди них 7 мужчин, 14 женщин, один подросток и один взрослый человек без определения пола и возраста (определение В. И. Хартановича).

Способ трупосожжения представлен двумя вариантами: а) полная кремация на стороне; б) частичная кремация на месте. При полной кремации могильные ямы заполнялись углисто-зольным песком, в котором беспорядочно залегали так называемые кальцинированные кости и предметы погребального инвентаря. В этих случаях в могилы, вероятно, переносились остатки погребального костра с уже отожженными костями. Погребальные вещи в таких захоронениях обычно не носят следов воздействия огня. Реже кремация, по мнению Э. А. Савельевой, происходила непосредственно в могильной яме, в срубках, которые представляли собой конструкцию из четырех плах, поставленных на ребро на дно могилы впритык друг к другу, обернутую берестой. Такие срубки, вероятно, имели дощатое днище. При обугливания они превращались в углистый слой (Савельева, 1971). В таких случаях в могильных ямах сохраняются как кальцинированные, так и лишь обгоревшие, и даже не затронутые огнем кости (Савельева, 1987).

Большинство захоронений содержит предметы погребального инвентаря – оружие, орудия труда, производственный инвентарь, предметы быта, украшения. На основе анализа вещевого инвентаря установлено, что хозяйство вычегодских пермян было комплексным.



**Рис. 1.** Карта расположения могильников Перми Вычегодской (слева) и их привязка к кривой глобального изменения средней температуры на поверхности Земли на фоне некоторых исторических событий (справа). Могильники: 1 – Кедвавожский, 2 – Ошмёский, 3 – Кичилькосьский I, 4 – Кисилькосьский II, 5 – Веслянский II, 6 – Ветьюский, 7 – Бюджидельский, 9 – Жигановский, 10 – Вадьягский, 11 – Отлинский I, 12 – Отлинский II, 13 – Кокпомьягский, 14 – Петкойский, 15 – Гидсайягский, 16 – Часадорский, 17 – Лялинский, 18 – Чежтыягский, 19 – Джибьягский, 20 – Клянышланта, 21 – Усть-Сысольский, 22 – Озельский, 23 – Позмогский, 24 – Нёбдинский, 25 – Шойнаты II, 26 – Шойнаты III, 28 – Вьльгортский, 29 – Вотчинский, 30 – Ужгинский I, 31 – Уигинский II. Поселения: 8 – Жигановское. Святилище: 27 – Джуджыдыяг. Климатические экстремумы: I – римский оптимум (0–400 лет н. э.), II – пессимум раннего средневековья (400–1000 лет), III – средневековый оптимум (1000–1300 лет), IV – малый ледниковый период (1300–1800 лет). Исторический контекст: ГВ – «готская война» (377–382 гг.), нашествие готов на Римскую империю; НГ – нашествие гуннов на Западную Европу (375–475 гг.); ГТ – «год тьмы» (536–537 гг.), сочетание извержения супервулкана в Исландии и гигантской песчаной бури в Сахаре (18 месяцев непрерывной зимы и голода); КП – крестовые походы; КБ – «кара богов» – первая пандемия чумы в Западной Европе (1346–1353 гг.). Красными отрезками показаны временные интервалы исследованных нами раннесредневековых могильников (МРСВ) и могильников перми вычегодской (ПВ)

Судя по преобладанию среди предметов промышленного оружия, прежде всего наконечников стрел, важную, возможно, главную роль в экономике пермян играла охота. Это подтверждается находками в памятниках костей промысловых животных – лосей, северных оленей, медведей, зайцев, белок, бобров, лисиц, а также птиц (определение П. А. Косинцева). Было развито также и рыболовство, на что указывают кости рыб, а также рыболовные крючки, остроги, грузила, найденные в памятниках вычегодских пермян. С XI–XII вв. с включением вычегодской перми в сферу политических и экономических интересов Великого Новгорода, ставшего в это время крупнейшим центром международной торговли, в хозяйстве местного населения возрастает роль специализированного пушного промысла. Дань с вычегодских пермян взималась тогда именно мехами. Именно меха и пушнина становятся основ-

ным предметом обмена в торговле с новгородскими купцами-дружинниками (Королев, Савельева, 1999). В обмен на меха на Европейский Север поступали многочисленные привозные изделия городского ремесла, прежде всего украшения из Новгорода Великого и Волжской Болгарии.

На Кичилькосьском I могильнике было найдено 76 целых и множество обломков западноевропейских монет X–XI вв. Среди последних – чешские, германские, голландские, датские, привезенные на Вымь новгородскими купцами (Савельева, 2019). В связи с возрастанием роли пушного промысла основным источником мяса в рационе местного населения становятся, вероятно, домашние животные – крупный и мелкий рогатый скот. На памятниках вычегодских пермян сохранились кости коров, овец, коз, лошадей, свиней. Судя по находкам конских удиц, лошади использовались как тягловая

сила. Находки пружинных ножниц для стрижки овец указывают на то, что овечья шерсть шла на изготовление одежды, косвенным свидетельством чего являются находки пряслиц, а также остатки шерстяной ткани в погребениях.

К XI в. относятся первые свидетельства развития у вычегодских пермян земледелия. На это указывают сохранившиеся в медном котелке остатки каши из культурных злаков в погребении 13 Кичилькосьского I могильника (Савельева, 1971; Савельева, 1987; Савельева, 2019). Кроме того, в документе, отражающем время миссионерской деятельности Стефана Пермского в XIV в., упоминаются многие вязанки сухой соломы (Житие, 1995). В это время господствовала подсечно-огневая система земледелия, при которой важнейшим орудием труда являлся лесорубный топор – инструмент для рубки и раскорчевания. Судя по этнографическим материалам и письменным источникам, для рыхления почвы использовалась суковатка. По описанию академика И. И. Лепехина, подсечно-огневая система земледелия сохранялась и в XVIII в. На памятниках собственно перми вычегодской пока не было найдено ни одного железного почвообрабатывающего орудия. Железный лемех был обнаружен лишь на древнерусском Карыбйвском городище, а железный сошник – случайная находка в урочище Кузь-Ластасай в верховьях Выми. Кузнечное производство в это время развивалось, выделившись, вероятно, в отдельное ремесло. Об этом свидетельствуют погребения кузнецов с кузнечным инструментарием (Савельева, 2019) и достаточно представительная коллекция металлических изделий на памятниках вымской культуры. На основе традиционных археологических методов определена их хронология, разработана классификация, выявлены как общие для финно-угорских территорий и севера Восточной Европы типы орудий труда и предметов быта, так и специфические, обусловленные ведущей ролью промысловой охоты в экономике местного населения. В настоящее время изучена технология кузнечного производства на основе металлографического анализа изделий из железа, что позволило определить уровень развития металлургии и металлообработки, роль куль-

турных инноваций в истории кузнечного производства вычегодских пермян (Бирюков и др., 2006). Установлен факт применения восьми различных технологий: трехслойного пакета, косой и торцевой наварки, сварки стального лезвия, цементации, сварки из двух пластин, простойковки из железа и стали. Одной из специфических особенностей кузнечного производства вычегодских пермян является длительное использование и широкое распространение схемы трехслойного пакета, появившейся в XI в. и применявшейся практически без изменений вплоть до XIV в.

На памятниках вымской культуры выявлены многочисленные свидетельства развития местного бронзолитейного производства, что особенно убедительно обосновано материалами раскопок Чежтыягского могильника на Нижней Вычегде, где была выявлена группа погребений женщин-литейщиц (Истомина, 1972; Савельева, 2021). Здесь обнаружены фрагменты льячек (форм для разлива расплавов), литейная форма, ювелирный пинцет, а также множество материальных признаков развитого литейного производства на основе сульфидного сырья. К таким признакам относятся оплавленные металлические слитки, оплавленные металлические изделия, каплевидные «слитки», обломки изделий, использовавшихся для переплавки (Астахова, Савельева, 2022). Согласно аналитическим данным (табл. 1), в состав металлов и металлических сплавов входят металлы (медь, олово, серебро), металлические сплавы (свинцово-медные, медно-свинцовые, бронзы, латуни) и сернисто-металлические соединения. По частоте встречаемости эти материалы образуют следующую последовательность: бронзы > медь > свинцово-медные и медно-свинцовые сплавы > олово > латуни без Sn > сернисто-металлические соединения > серебро > латуни с оловом. Отношение частот встречаемости бронз и латуней составляет 6,7, что отличается от аналогичного отношения в ранне-средневековых могильниках, не превышающего 0,7 (Ашихмина, Филиппов, 2005). Из сопоставления следует, что к рассматриваемому времени роль латуней среди используемых вычегодскими пермянами сплавов

**Таблица 1.** Химический состав (мас. %) металлов и сплавов из Чижтыягского могильника

Металлы и сплавы	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	Ag	As	Sb	S
1. Медь	97.91 ± 4.55	0.02 ± 0.08	не обн.	1.25 ± 3.83	0.12 ± 0.42	0.12 ± 0.47	0.54 ± 2.09	0.03 ± 0.12	не обн.
2. Pb-Cu и Cu-Pb сплавы	14.3 ± 9.31	2.65 ± 2.66	0.25 ± 0.61	81.25 ±12.52	не обн.	не обн.	0.4 ± 1.46	1.16 ± 4.17	не обн.
3. Олово	не обн.	99.46 ± 0.93	не обн.	не обн.	0.54 ± 0.93	«	не обн.	не обн.	не обн.
4. Серебро	8.35	не обн.	«	1.99	не обн.	89.66	«	«	«
5. Бронзы	83.53 ± 12.64	14.35 ± 11.6	«	1.57 ±5.35	0.11 ±0.04	не обн.	0.06 ± 0.18	0.28 ± 0.53	0.07 ± 0.37
6. Латуни	83.1 ± 6.51	2.42 ± 2.4	13.11 ± 6.38	1.25 ± 0.31	0.12 ± 0.23	«	не обн.	не обн.	не обн.
7. Сернисто-металлические соединения	6.91	0.79	не обн.	48.8	не обн.	«	«	«	43.5

*Примечание.* Данные о составе: среднее ± среднее квадратическое отклонение. Эмпирические формулы: 1 –  $Cu_{0.85-1}Pb_{0-0.15}Sn_{0-0.01}Fe_{0-0.02}Ag_{0-0.01}As_{0-0.07}Sb_{0-0.01}$ ; 2 –  $Pb_{0.22-0.84}Cu_{0.16-0.57}Sn_{0.01-0.21}Zn_{0-0.05}As_{0-0.09}Sb_{0-0.16}$ ; 3 –  $Sn_{0.97-1}Fe_{0-0.03}$ ; 4 –  $Ag_{0.85}Cu_{0.14}Pb_{0.01}$ ; 5 –  $Cu_{0.65-0.99}Sn_{0.01-0.29}Pb_{0-0.12}S_{0-0.04}(Fe,As,Sb)_{0-0.016}$ ; 6 –  $Cu_{0.78-0.93}Zn_{0.06-0.21}Sn_{0-0.03}(Pb,Fe)_{0-0.01}$ ; 7 –  $Pb_{0.15}Cu_{0.06}Sn_{0.01}S_{0.77}$

снизилась практически на порядок. Это подтверждается и результатами исследований могильников XI–XIV вв. в Пермском Предуралье (Вострокнутов, 2020).

Значительный интерес представляет привязка в Чижтыягском могильнике металлов и сплавов к конкретным предметам: 1) оплавленные металлические слитки – бронзы и олово; 2) оплавленные металлические изделия – бронзы, свинцово-медные сплавы; 3) каплевидные «слитки» – сернисто-металлические соединения; 4) обломки котлов – медь; 5) оплавленные металлические украшения – бронзы, свинцово-медные и медно-свинцовые сплавы; 6) накладки – бронзы; 7) металлические бусины и шарики – бронзы; 8) бубенчики – медно-свинцовые сплавы, бронзы; 9) шумящие подвески – бронзы, медь; 10) пронизки – латуни, бронзы, свинцово-медные сплавы; 11) височные кольца, перстни – латуни, медно-свинцовые сплавы, бронзы. Следовательно, здесь выявляются признаки некоторой культурной специализации металлов: в направлении перехода от слитков к изделиям и далее к украшениям происходит постепенная смена бронз сначала медью и ее сплавами со свинцом, а затем латунями и благородными металлами.

Обнаружение в исследуемом могильнике среди продуктов бронзолитейного производ-

ства оплавленных кусков металлического олова представляет собой серьезную археолого-историческую проблему, поскольку на территории Урала не известны подходящие источники самородного олова – ни коренные, ни россыпные. Весьма вероятно, что наличие металлического олова металлургической чистоты работает на идею о существовании с VII в. устойчивого «дальнего импорта» материалов и предметов на территорию Привычегодья (Голдина, 2012; Савельева, 2021).

### Объекты и методы исследований

Непосредственным объектом минералого-геохимических исследований послужила коллекция человеческих костей из семи могильников вычегодских пермлян. Были исследованы фрагменты сырых и кальцинированных костей (табл. 2). Сырые кости представлены угловатыми обломками буровато-серого до бурого цветов (рис. 2–4), анатомические разновидности которых статистически различаются по размеру незначительно (мм): обломки черепов –  $(42 ± 13) × (25 ± 10)$ ; челюстей –  $(41 ± 25) × (19 ± 8.5)$ ; трубчатых костей –  $(36 ± 13) × (15 ± 6)$ .

Таблица 2. Исследованные образцы человеческих костей

№ п/п	№ погребения	Гендерная привязка	Анатомическая привязка
<i>Кичилькосьский I, XI–XIII вв.</i>			
1	1	Мужчина 60 лет	Череп
2	3	Не опр.	Не опр.
<i>Кичилькосьский II, XIII в.</i>			
3	46а	Не опр.	Трубчатая кость
<i>Жигановский, XII–начало XIV вв.</i>			
4	17	Женщина 50–60 лет	Череп
5	19	Не опр.	Трубчатая кость ноги
6	57	«	Череп
7	65а	«	Трубчатая кость
<i>Кокпомьяг, XII–XIV вв.</i>			
8	92	Женщина 40–50 лет	Челюсть с зубами
9	23	Не опр.	Трубчатая кость
10	30	«	Кость нижней конечности
11	33	«	Трубчатая кость
12	38	«	«
13	39	«	Позвонок
14	40	«	Ключица
15	43	«	Трубчатая кость
<i>Боджидельский, XII–I половина XIV вв.</i>			
16	49	Не опр.	Череп
17	51	Женщина 50–60 лет	«
18	53	Не опр.	«
19	54	«	«
20	56	«	«
21	58	«	«
22	62	Мужчина 20–30 лет	«
23	64	Мужчина 40–50 лет	«
<i>Озельский, XII–XIII вв.</i>			
24	66	Подросток 15–17 лет	Челюсть
<i>Небдинский, XI–XII вв.</i>			
25	79	Взрослый человек	Череп
26	80	Не опр.	«

Таблица 2. Окончание

№ п/п	№ погребения	Гендерная привязка	Анатомическая привязка
<i>Чежтыягский, XI–XIV вв., сырые кости</i>			
27	17	Не опр.	Трубчатая кость
28	37	Женщина	Челюсть с зубами
29	45	«	«
30	46	Мужчина	Не опр.
31	60	Женщина	Череп
33	68	«	«
34	69	«	Череп и зубы
35	70	«	Череп
36	71	Не опр.	«
37	99	«	Трубчатая кость
38	100	«	«
39	108	Женщина	Челюсть
40	112	Не опр.	Не опр.
41	122	Женщина	Череп
42	140	Мужчина	Челюсть с зубами
43	144	«	Череп
49	121	Не опр.	«
50	32	Женщина	Трубчатая кость
51	140	Мужчина	Череп
<i>Чежтыягский, XI–XIV вв., кальцинированные кости</i>			
52	20	Не опр.	
53	24		«
54	44		«
55	47		«
56	48		«
57	52		«
58	53		«
59	72		«
60	73		«
61	74		«
62	83		«
63	84		«
64	98		«
65	106		«
66	147		«

Приведенные данные демонстрируют тренд сокращения размеров костных обломков в последовательности черепные > челюстные > трубчатые, которая вполне совпадает с известной криминалистам (Рубежанский, 1978) закономерностью снижения устойчивости костей к фрагментации в

захоронениях. Зубы, сохранившиеся в связи с челюстями, колеблются по размеру в пределах  $(9 \pm 1) \times (19 \pm 1.5)$  мм, характеризуются

гораздо большей целостностью, включая корневые каналы.



Рис. 2. Форма и размеры исследованных фрагментов черепов из могильников



Рис. 3. Форма и размеры фрагментов челюстей с зубами из могильников Чежстьягского, Кок-помьягского, Озельского

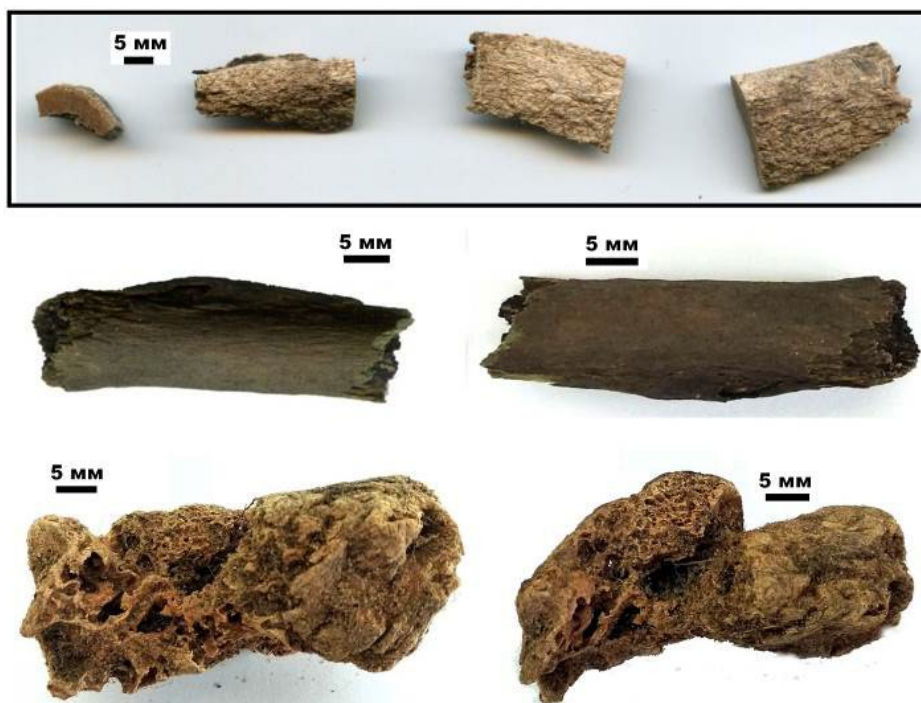


Рис. 4. Форма и размеры фрагментов трубчатых костей и могильников Чежтыягского, Жигановского, Кокпомьягского

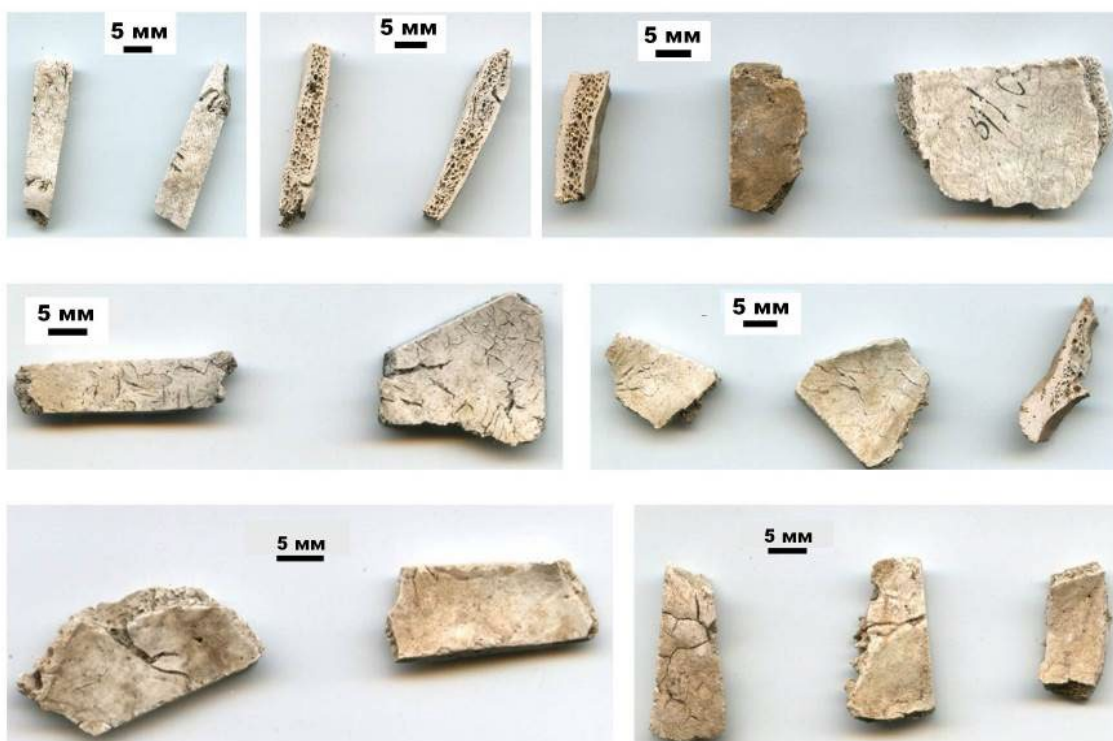


Рис. 5. Форма и размеры исследованных фрагментов горелых костей из Чежтыягского могильника

Кальцинированные кости отличаются светлым, почти белым цветом и грубой трещиноватостью (рис. 5). Губчатая ткань в поперечных сечениях таких образцов характеризуется неестественной для сырых костей макропористостью (с размером пор до

1 мм), что, очевидно, обусловлено выгоранием костного органического вещества. По размеру исследованные образцы горелых костей варьировались в пределах  $(24 \pm 6) \times (13 \pm 6)$  мм, что на 15–50% уступает размерам фрагментов сырых костей. В ходе ис-

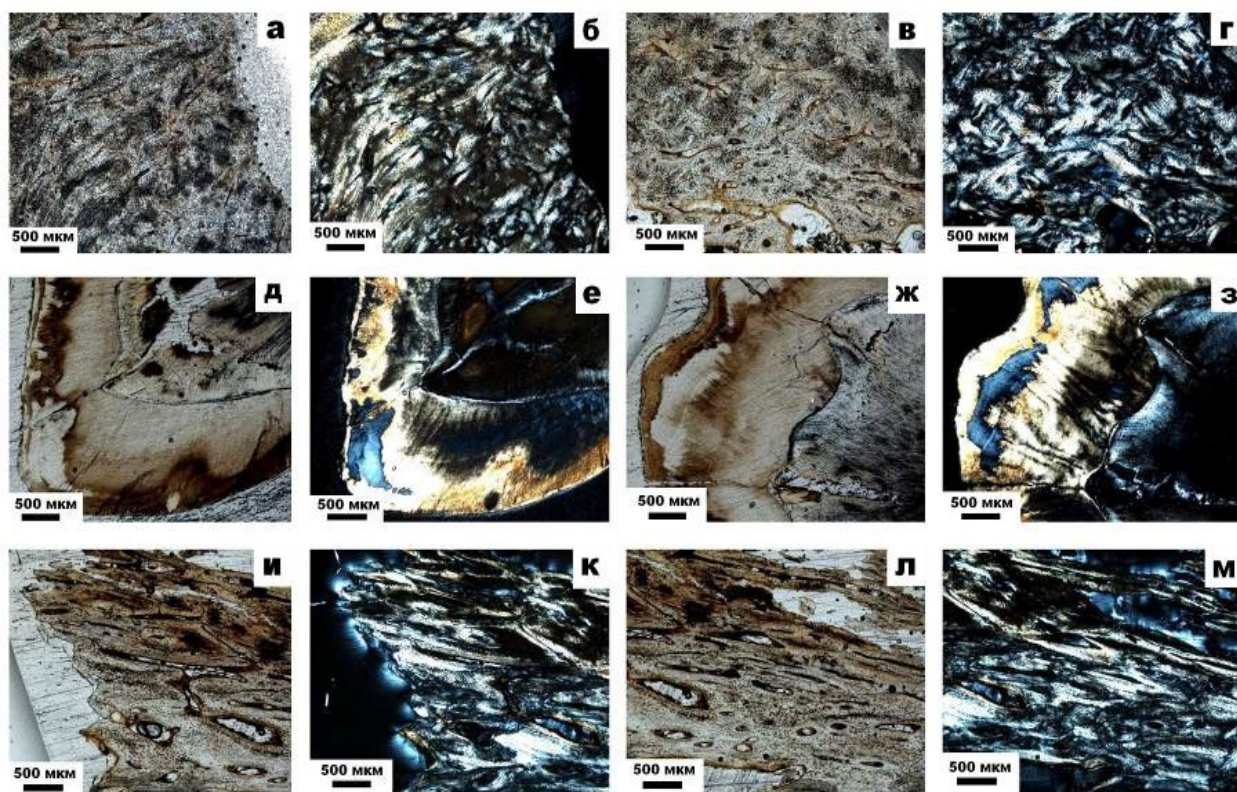


следований применялся широкий комплекс современных аналитических методов, хорошо себя зарекомендовавших в приложении ко многим палеонтологическим и археологическим объектам (Silaev et. al., 2017; Силаев и др., 2017<sub>1</sub>; Силаев и др., 2017<sub>2</sub>; Силаев и др., 2019<sub>1,2</sub>; Силаев и др., 2020; Силаев и др., 2021; Силаев и др., 2022): термический анализ (DTG-60A/60 АН, Shimadzu); определение содержания  $C_{org}$  методом кулонометрического титрования; рентгенофлуоресцентный анализ (XRD-1800 Shimadzu); оптическая микроскопия (комплекс OLYMPUS BX51); рентгеновская дифрактометрия (XRD-6000); аналитическая растровая электронная микроскопия (TeskanVega3LMH, JSM-6400 Jeol); определение нанопористости по кинетике адсорбции/десорбции азота (Nova 1200e, Quantachrome Instruments); анализ элементного состава коллагена методом газовой хроматографии (EA 1110 (CHNS–O)); анализ состава аминокислот в коллагене методом газовой хроматографии (GC-17A Shimadzu с пламенно-ионизационным детекто-

ром); масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (NexION 300S Perkin Elmer); инфракрасная спектроскопия (ФТ-2 Инфралюм); масс-спектрометрический анализ изотопного состава С, О в биоапатите и С, N в костном коллагене (Delta V. Avantage с аналитическим комплексом Thermo Fisher Scientific). ИСП-МС анализы на микроэлементы выполнены в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН. Все остальные аналитические работы осуществлены в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

### Микростроение и нанопористость

Исследованные образцы сырых костей характеризуются хорошей сохранностью гистологического строения как компактной (пластинчатой с гаверсовой системой), так и губчатой (трабекулярно-ячеистой) костной ткани. При этом анатомические различия костей под оптическим микроскопом заметно различаются (рис. 6).



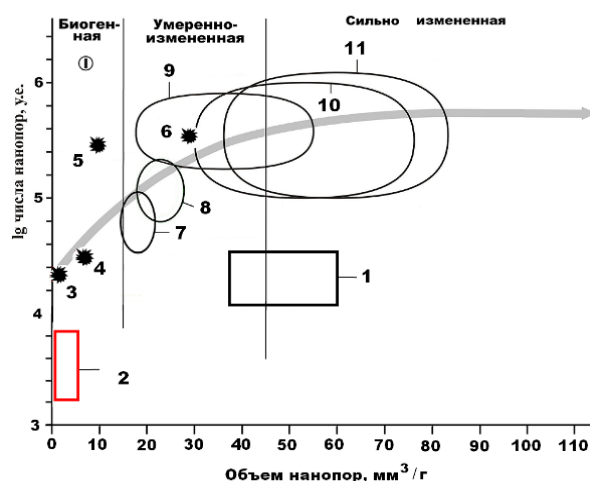
**Рис. 6.** Микростроение исследованных костей под оптическим поляризационным микроскопом: а–г – череп; д–з – челюсти; и–м – трубчатые кости. В режимах параллельных (а, в, д, ж, и, л) и скрещенных (б, г, е, з, к, м) николей. Чежтыягский могильник

Для черепных костей свойственно однообразное массивное сложение хаотично ориентированными линзовидными субиндивидами биоапатита размером до  $500 \times 200$  мкм. Фрагменты челюстей обнаруживают изогнуто-пластинчатое строение с поперечным удлинению пластин параллельно-шестоватым строением на порядок более мелких субиндивидов. Трубочатые кости плотно сложены агрегатами параллельных волокнисто-игольчатых субиндивидов размером до  $1000 \times 50$  мкм, согласно ориентированных вдоль удлинения костей. Важнейшей структурной характеристикой исследованных костей как органо-минерального композита является их ультрапористость в нанометровом диапазоне, которая из-за бактериального выедания коллагена в ходе фоссилизации постепенно деградирует, отражая тем самым степень вторичного изменения. Проведенные исследования показали (рис. 7), что кости из могильников перми вычегодской по параметрам нанопористости между собой близки, но существенно отличаются от ранее исследованных нами ископаемых костей. Это отличие состоит в том, что исследованные образцы костей пермян при суммарном объеме нанопор, соответствующим переходу от умеренно-измененных костей к сильно измененным, характеризуются относительно низким показателем общего числа нанопор. То есть эти кости обнаруживают признаки аномальной деградации поровой наноструктуры, обусловленной переходом значительной части первичных нанопор в разряд пор субмикронной размерности.

### Химический состав костей

Валовый химический состав образцов представлен в табл. 3. Из приведенных данных следует, что исследованные сырые кости характеризуются в среднем относительно низким содержанием иллювирированных минеральных примесей – от 6.95 мас. % в трубочатых костях до 12.84–13.09 мас. % во фрагментах черепов и челюстей. При этом обращает на себя внимание неестественно-аномально-высокое содержание меди в некоторых черепных и челюстных костях, достигающее в среднем 4.5–8 мас. %. Эта аномалия, очевидно, обусловлена присутствием в захоронениях множества медных металлов и

медьсодержащих металлических сплавов. Пересчет данных о химическом составе на нормативно-минеральный состав показывает, что в состав загрязняющих кости минеральных примесей входят в последовательности снижения содержания кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{NaAl}[\text{Si}_3\text{O}_8]$ ), слюды ( $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ), хлориты ( $\text{Mg,Fe}_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ) и железомарганцевые оксигидроксиды  $((\text{Fe,Mn})\text{O}(\text{OH}))$ . Последние и обуславливают окрашивание сырых костей в бурые цвета. Судя по составу нормативно-минеральной примеси костей, вмещающие их грунты являются хлорит-слюдисто-альбит кварцевыми песками, что комплементарно данным археологических раскопок.



**Рис. 7.** Вариации нанопористости в современных и ископаемых костях: 1, 2 – Чежъягский могильник, соответственно сырые и горелые кости; 3 – современный человек; 4 – байгаринский человек, мезолит; 5 – усть-ишимский человек, палеолит; 6 – тоболо-иртышский тюрк, средневековье; 7–10 – могильники в верховьях р. Енисей, неолит–средневековье; 10 – могильники в Северном Приангарье, неолит–средневековье; 11 – древнее святилище Усть-Полуй, бронзовый–железный века

Кальцинированные кости характеризуются в 2.5–3 раза меньшим содержанием загрязняющих минеральных примесей при полном отсутствии химической медной аномалии (табл. 4). В них среди иллювирированных примесей резко преобладает альбит при минимальном содержании слюды, окрашивающих железомарганцевых оксигидратов (в 6–7 раз меньше в сравнении с сырыми костями) и отсутствии хлоритов. Все это указывает на специфичность захоронения такого рода костей.

**Таблица 3.** Химический (мас. %) и нормативно-минеральный (мол. %) состав сырых костей

Компоненты	Череп		Челюсти		Трубчатые кости		Общее	
	Среднее	СКО	Среднее	СКО	Среднее	СКО	Среднее	СКО
SiO <sub>2</sub>	3.47	3.74	2.94	3.49	3.93	1.52	3.39	3.35
SnO <sub>2</sub>	0		0.18	0.43	0		0.05	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.71	3.3	2.06	2.22	1.04	0.36	2.3	2.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.42	0.3	0.73	0.83	0.69	0.65	0.54	0.53
CuO	4.71	12.1	5.11	7.64	0.02	0.03	4.18	10.02
ZnO	0.06	0.08	0.58	0.63	0.03	0.03	0.2	0.4
PbO	0.15	0.46	0.05	0.11	0		0.1	0.36
MnO	0.27	0.32	0.22	0.14	0.06	0.05	0.23	0.26
MgO	0.07	0.16	0.15	0.23	0.19	0.33	0.11	0.2
CaO	50.93	10.81	50.14	9.44	54.44	2.24	51.19	9.51
SrO	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.44	0.18	0.52	0.19	0.49	0.06	0.47	0.17
K <sub>2</sub> O	0.12	0.09	0.09	0.04	0.08	0.01	0.1	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35.98	7.34	37.02	5.58	38.16	3.27	36.56	6.31
SO <sub>3</sub>	0.53	0.66	0.43	0.39	0.28	0.04	0.47	0.54
Ca/P <sub>ат</sub>	1.78	0.13	1.75	0.15	1.77	0.15	1.77	0.13
Нормативные минералы								
Апатит	87.3	16.84	86.72	17.62	92.84	0.55	87.9	15.5
Кварц	2.25	4.32	3.45	7.97	7.16	0.55	2.52	5.14
Альбит	4.33	4.52	4.02	3.08	3.89	0.72	4.18	3.74
Слюда	2.45	4.58	1.34	1.49	0.72	0.18	1.91	3.6
Хлориты	1.57	3.98	1.67	2.59	0.48	0.83	1.45	3.3
Оксигидроксиды	2.08	4.88	1.29	1.03	0.27	0.03	1.62	3.78

**Таблица 4.** Химический (мас. %) и нормативно-минеральный (мол. %) составы кальцинированных костей

Компоненты	Среднее	СКО
SiO <sub>2</sub>	1.77	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51	0.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	0.13
CuO	0.01	0.02
MnO	0.01	0.02
CaO	54.8	1.01
SrO	0.02	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.06
K <sub>2</sub> O	0.05	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.97	0.65
SO <sub>3</sub>	0.17	0.05
Ca/P <sub>ат</sub>	1.7	0.04
Нормативные минералы		
Апатит	94.18	1.34
Кварц	0.14	0.34
Альбит	3.61	0.97
Слюда	0.67	0.23
Оксигидроксиды Fe–Mn	0.39	0.15

На кристаллохимическое состояние биоапатита в исследуемых костях указывает величина так называемого апатитового модуля – отношения атомных содержания кальцита и фосфора (Ca/P<sub>ат</sub>). В апатите небиологического происхождения это отношение составляет 1.67, в карбонатапатите, включая и биоапат, значение апатитового модуля возрастает пропорционально степени замещения аниона [PO<sub>4</sub>] на группу [CO<sub>3</sub>], достигая максимума в биоапатите действительно кальцинированных костей, например, претерпевших фоссиллизацию в элювиальных грунтах карстовых пещер (Силаев и др., 2020).

Полученные оценки этого параметра для исследованных образцов показали (рис. 8), что в сырых костях биоапатит практически соответствует первичному и слабоизмененному костному биоапатиту, в общем согласуясь с биоапатитом ископаемых костей позднежелезного века–средневековья.

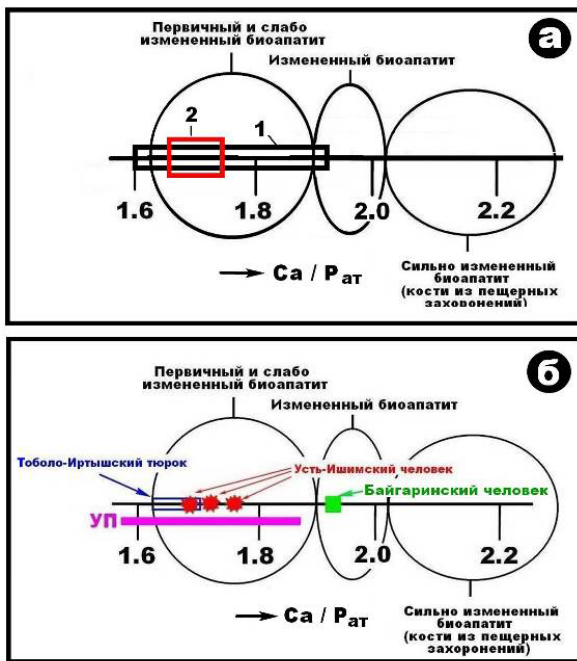


Рис. 8. Вариации значений апатитового модуля для биоапатита в исследуемых костях (а) и костях-аналогах (б)

Лишь в более древних костях внепещерного захоронения, например, в кости байгаринского человека эпохи мезолита, биоапатит оказался более кальцинированным. На этом фоне биоапатит в «кальцинированных» костях из Чежтыягского могильника оказался в среднем менее кальцинированными, чем даже биоапатит в сырых костях из того же могильника. То есть «кальцинированные», по мнению археологов, кости, прошедшие процедуру трупосожжения, фактически не являются кальцинированными и заслуживают для своего определения другого термина, например, термина «отожженные кости».

### Микроэлементы

В составе исследуемых костей обнаружены 55 микроэлементов (табл. 5), в том числе 12 элементов-эссенциалов, 18 физиологически-активных и 25 элементов-антибионтов, включая 14 лантаноидов. Элементы первой группы в костях наследуются от живого организма, в котором они отвечают за перенос кислорода, фиксацию азота, метаболизм железа, синтез белков, белковый и жировой обмена, стабилизацию структур РНК и ДНК; образование ферментов, формирование структуры клеток (Уляхович, 1997; Адамова и др., 2002; Орлов, 2009; Силаев и др., 2020).

Вторая группа объединяет элементы, которые могут быть по происхождению как унаследованными от организма, так и обусловленными фоссилизацией. Третья группа включает только элементы эпигенетического происхождения, источником которых выступает геологическая среда захоронения.

Средняя суммарная концентрация микроэлементов в исследуемых сырых костях варьируется в пределах от 809 до 2304 г/т. В большинстве случаев эта концентрация соответствует археологическому возрасту костей (рис. 9), но в случае фрагментов черепов она оказалась аномально высокой и именно из-за аномально высоких концентраций элементов, слагающих металлические изделия и украшения в могильнике – Cu, Sn, Zn, Pb. Очевидно, что такая аномалия может быть объяснена иллювирированием в кости металлов именно из этих предметов.

Проведенные ранее исследования показали, что пропорция между элементами эссенциалами и антибионтами является эффективным критерием оценки степени фоссилизации захороненных костей. В рассматриваемом случае отношение групповых концентраций ЭС/АБ изменяется от 21 до 37, что значительно превышает аналогичное отношение в ископаемых костях доголоценового возраста, подчеркивая гораздо лучшую сохранность в позднесредневековых костях органического вещества. Об этом же свидетельствуют и отношения концентраций эссенциального цинка к физиологически активной меди. Это отношение в исследованных сырых костях без учета аномальных значений для меди колеблется в среднем от 30 до 57.

Противоположную картину показывает степень обогащения исследуемых костей лантаноидами. В данном случае суммарное содержание лантаноидов в сырых костях колеблется в пределах 2–5 г/т, что, конечно, превышает такое содержание в живых костях, но в десятки раз уступает содержанию в ископаемых костях плейстоценового возраста. Нормированные на литологический стандарт PAAS содержания большинства лантаноидов образуют субгоризонтальный тренд, уступая стандарту в концентрациях

Таблица 5. Микроэлементы в исследуемых костях, г/т

Элементы	Череп		Челюсти, позвонки, ключицы		Трубчатые кости		Итого	Сборная проба каль- цинирован- ных костей
	Среднее	СКО	Среднее	СКО	Среднее	СКО		
Be	0.45	0.157	He обн.		0.038	0.07	0.035 ± 0.07	He обн.
Rb	0.984	0.823	2.263	0.864	0.989	1.344	1.199 ± 1.099	2.134
Ag	0.31	0.592	0.037	0.046	0.076	0.21	0.187 ± 0.444	0.062
Cd	0.772	0.626	0.727	0.544	0.352	0.188	0.624 ± 0.527	1.013
Zn	178.77	165.94	112.62	50.503	182.98	106.97	169.15 ± 132.87	155.313
Mo	0.097	0.114	0.135	0.118	0.045	0.034	0.086 ± 0.097	0.08
Pb	23.854	53.0	1.18	0.198	27.677	59.795	21.349 ± 50.195	3.449
Bi	0.001	0.002	0.008	0.015	He обн.		0.002 ± 0.006	0.041
Th	0.051	0.054	0.053	0.03	0.065	0.108	0.056 ± 0.071	0.122
As	0.192	0.133	0.208	0.08	0.22	0.193	0.204 ± 0.144	0.292
S	87.884	102.187	125.53	141.2	100.85	113.089	98.479 ± 108.04	57.086
Se	0.448	0.559	0.472	0.673	0.377	0.519	0.427 ± 0.54	0.395
Сумма эс- сенциалов	293.37	219.72	257.73	181.31	313.67	157.1	291.18 ± 167.17	219.987
Cs	0.02	0.018	0.047	0.028	0.028	0.029	0.027 ± 0.025	0.014
Ba	145.01	162.73	62.577	35.224	90.214	74.609	113.001 ± 125.2	95.789
Sn	0.99	1.083	0.133	0.154	0.295	0.364	0.616 ± 0.864	1.951
Sb	0.23	0.505	0.064	0.012	0.039	0.023	0.139 ± 0.362	0.703
Y	0.595	0.585	0.399	0.096	0.305	0.185	0.466 ± 0.44	0.544
Zr	0.439	0.402	0.752	0.383	0.528	0.01	0.521 ± 0.547	1.568
Hf	0.001	0.005	He обн.		0.01	0.02	0.004 ± 0.012	0.026
U	0.03	0.03	0.041	0.013	0.048	0.075	0.038 ± 0.046	0.062
Ga	0.948	0.274	0.652	0.254	1.015	0.421	0.921 ± 0.338	0.707
Sr	121.37	70.32	67.85	27.209	117.8	49.34	111.253 ± 59.99	45.81
Li	0.863	0.351	0.603	0.424	0.633	0.341	0.743 ± 0.364	0.806
Ti	12.016	8.634	10.416	3.026	11.192	10.665	11.474 ± 8.476	12.915
V	7.086	3.392	8.26	1.65	4.724	3.481	6.495 ± 3.371	5.632
Cr	3.604	2.926	3.373	1.433	2.403	1.298	2.998 ± 2.293	9.128
Mn	1283.4	1423.9	354.67	347.22	699.45	3.92	934.0 ± 1134.89	200.0
Co	8.339	8.453	7.274	3.725	3.92	2.404	6.688 ± 6.472	15.12
Ni	22.671	14.62	19.861	5.974	18.013	9.171	20.65 ± 11.711	25.271
Cu	295.49	976.66	3.057	3.188	4.156	4.225	149.64 ± 691.66	526.74
Сумма фи- зиогенно- активных элементов	1999.0	1684.12	539.08	362.97	954.77	781.61	1359.68 ± 1374.58	942.786
Sc	2.841	1.299	3.176	1.292	2.729	1.621	2.86 ± 1.359	2.742
Ge	0.012	0.008	0.023	0.009	0.015	0.014	0.015 ± 0.011	0.011
Te	0.059	0.063	0.05	0.096	0.034	0.057	0.049 ± 0.065	0.011
B	2.812	3.633	5.052	7.968	3.436	5.22	3.393 ± 4.852	2.989
Nb	0.047	0.069	0.008	0.006	0.022	0.04	0.032 ± 0.055	0.014
Ta	0.016	0.039	He обн.		He обн.		0.008 ± 0.028	He обн.
Hg	0.052	0.159	«		«		0.026 ± 0.113	«
Tl	0.007	0.016	«		«		0.013 ± 0.046	«
Au	0.092	0.218	0.073	0.146	0.027	0.078	0.093 ± 0.228	«
Rh	0.067	0.013	0.039	0.022	0.076	0.056	0.065 ± 0.04	0.027
Pd	0.013	0.013	0.048	0.047	0.024	0.029	0.022 ± 0.027	0.05

Таблица 5. Окончание

Элементы	Череп		Челюсти, позвонки, ключицы		Трубчатые кости		Итого	Сборная проба каль- цинирован- ных костей
	Среднее	СКО	Среднее	СКО	Среднее	СКО		
La	0.922	0.977	0.78	0.137	0.552	0.347	0.746 ± 0.732	0.663
Ce	1.921	2.365	1.961	0.384	1.29	0.742	1.684 ± 1.802	1.761
Pr	0.222	0.204	0.148	0.035	0.125	0.082	0.17 ± 0.158	0.164
Nd	0.782	0.779	0.604	0.127	0.421	0.348	0.607 ± 0.604	0.712
Sm	0.143	0.168	0.127	0.023	0.09	0.07	0.117 ± 0.126	0.163
Eu	0.033	0.042	0.027	0.03	0.024	0.018	0.028 ± 0.031	0.037
Gd	0.161	0.174	0.183	0.065	0.123	0.064	0.149 ± 0.135	0.142
Tb	0.018	0.023	0.015	0.006	0.01	0.007	0.014 ± 0.017	0.016
Dy	0.107	0.118	0.09	0.023	0.065	0.049	0.086 ± 0.09	0.133
Ho	0.019	0.021	0.015	0.004	0.01	0.008	0.015 ± 0.016	0.022
Er	0.058	0.06	0.034	0.032	0.032	0.024	0.043 ± 0.048	0.074
Tm	0.006	0.008	0.016	0.03	0.003	0.003	0.007 ± 0.015	0.01
Yb	0.043	0.05	0.027	0.026	0.018	0.017	0.03 ± 0.039	0.062
Lu	0.007	0.007	0.003	0.004	0.003	0.04	0.004 ± 0.006	0.006
Сумма лан- таноидов	4.443	4.872	3.794	0.364	2.103	1.624	3.555 ± 3.651	3.9654
Сумма эле- ментов ан- тибионтов	10.46	5.99	12.26	9.39	8.57	7.09	10.13 ± 9.76	9.81
Э/АБ	28.04		21.02		36.6		28.74	22.43
Zn/Cu	0.6		36.84		57.4		1.51	0.29

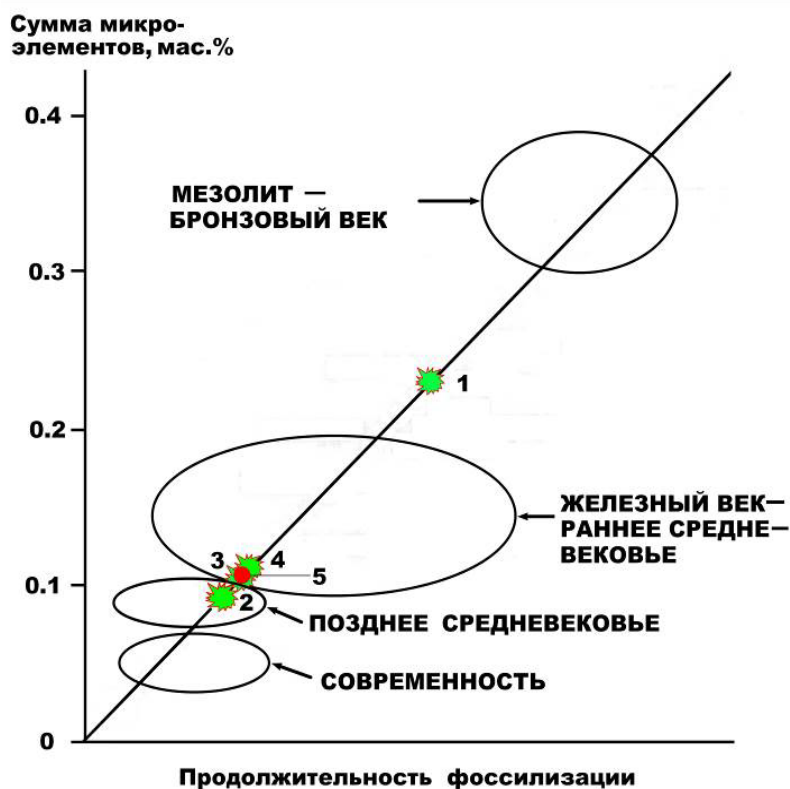


Рис. 9. Суммарное содержание микроэлементов в ископаемых костях. Могильники перми вычегодской: 1 – череп; 2 – челюсти, позвонки и ключицы; 3 – трубчатые кости; 4 – средние данные по сырм костям; 5 – кальцинированные кости

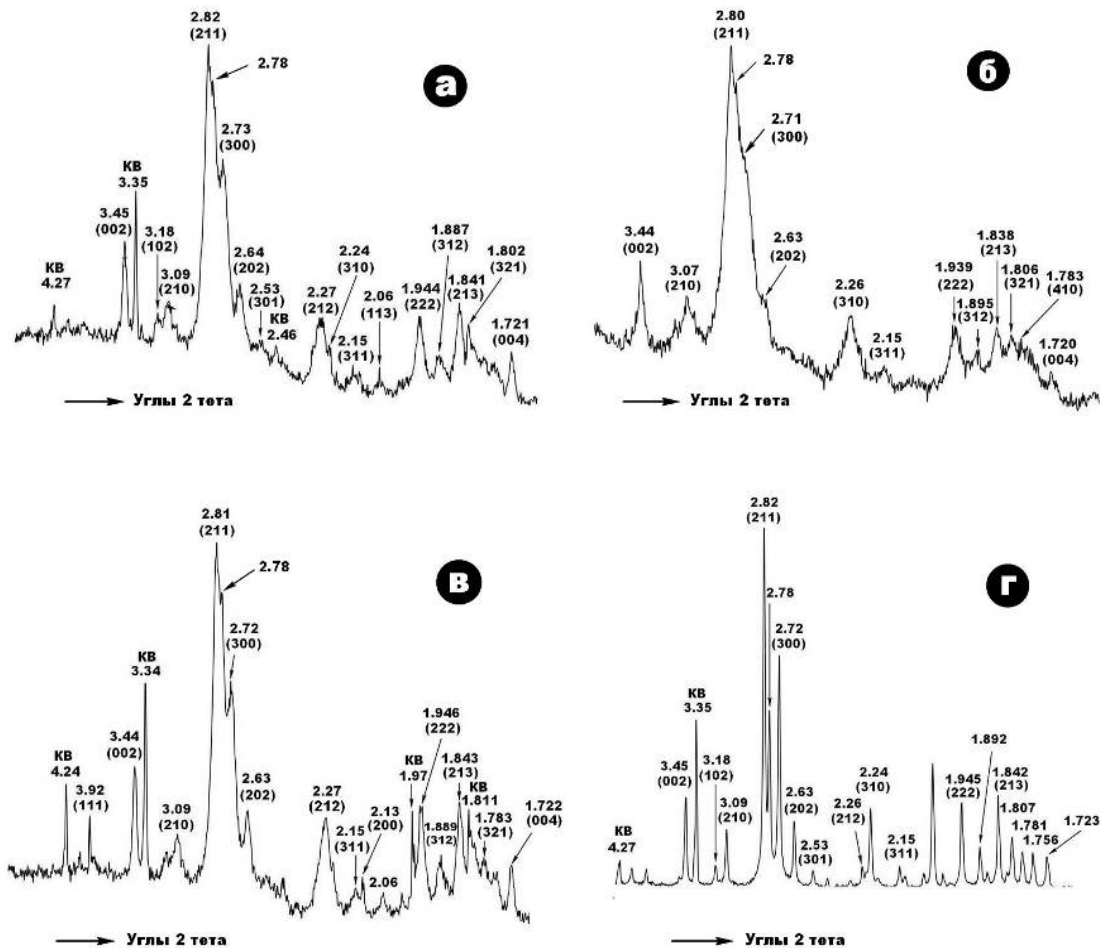
почти на порядок. Характер тренда подтверждает вывод о заимствовании лантаноидов из костевмещающих грунтов. Исключение демонстрируют самарий и европий, характеризующиеся в исследованных костях аномально высокими концентрациями, в 5–6 раз превышающими соответствующие концентрации в литологическом стандарте. Это объясняется сильным изоморфным поглощением костным биоапатитом именно этих элементов, аномально близких кристаллохимически к кальцию. Самой необычной геохимической особенностью исследуемых костей является их аномальное обогащение благородными элементами и платиноидами. Так, в кларках концентрации (отношение к кларку в земной коре) содержания этих микроэлементов составляют в среднем: Au = 23.3, Ag = 2.7, Pd = около 2, Rh = 600. Практически такие же аномалии ранее мы обнаружили и в костях из раннесредневековых могильников Повычегодя (Силаев и др., 2019<sub>1</sub>) с множеством украшений из благородных металлов (Ашихмина, Филиппов, 2005). Обогащение золотом и серебром костей в средневековых могильниках на рассматриваемой территории можно объяснить эмиссией со стороны захороненных украшений, а вот в случае платиноидов объяснение может оказаться более сложным. Не исключено, что наиболее вероятной причиной обогащения костей палладием и родием может оказаться именно уральское происхождение не только горно-металлургического сырья, как это уже предполагалось в отношении археологических памятников непосредственно на Урале (Зайков, 2015), но и самих собственников соответствующих костей. Следует также напомнить о выявленном обогащении платиноидами костных остатков плеистоценовых лошадей на стоянке Заозерье в Пермском Приуралье, что мы тоже объяснили влиянием уральских субстратов (Силаев и др., 2019<sub>2</sub>).

Содержание микроэлементов в кальцинированных костях примерно соответствует среднему их содержанию в сырых костях, но при системно большем содержании всех лантаноидов. При этом отношение групповых содержаний элементов эссенциалов и антибионтов (Э/АБ) в кальцинированных

костях ниже в среднем на 22%, отношение Zn/Cu меньше среднего для сырых костей раз в 5. Все это обусловлено выгоранием в кальцинированных костях органического вещества. В кальцинированных костях несколько иначе проявляются конкретные микроэлементные аномалии. Так, в них нет аномалий серебра, цинка и родия, гораздо меньше марганца, но повторяются небольшие аномалии олова, меди и палладия.

### Биоапатит

Фазовая диагностика биоапатита осуществлялась рентгендифракционным и ИК-спектроскопическими методами. В рентгенограммах исследованных образцов сырых костей (рис. 10) зарегистрированы все основные его отражения ( $\text{\AA}$ , в скобках кристаллографические индексы hkl): 3.43–3.46 (002); 3.05–3.09 (210); 2.80–2.82 (211); 2.71–2.73 (300); 2.63–2.64 (202); 2.53 (301); 2.27 (212); 2.24–2.26 (310); 2.15 (311); 2.06 (113); 1.939–1.946 (222); 1.887–1.895 (312); 1.838–1.843 (213); 1.783–1.806 (321); 1.720–1.722 (004). Кроме апатитовых пиков отмечается серия отражений в примесном кварце: 4.24–4.27; 3.34–3.35; 2.46; 1.811. Все апатитовые пики характеризуются значительным уширением, что свидетельствует об относительно низкой степени кристалличности этого минерала. Оценить последнюю можно по соотношению интенсивностей (I) главного пика 2.82 и пиков его расщепления 2.78 и 2.72. Расчеты показали, что для сырых костей отношение  $I_{2.78}/I_{2.82}$  колеблется в диапазоне 0.01–0.5, составляя статистически для фрагментов черепа, челюстей и трубчатых костей соответственно  $0.04 \pm 0.01$ ,  $0.02 \pm 0.01$  и  $0.02 \pm 0.01$ . Отношение  $I_{2.72}/I_{2.82}$  в тех же образцах варьируется в пределах 0.05–0.24, изменяясь в ряду фрагментов костей черепа, челюстей и трубчатых костей в последовательности  $0.14 \pm 0.09$ ;  $0.1 \pm 0.03$ ;  $0.1 \pm 0.02$ . Таким образом, факт в целом низкой степени кристалличности биоапатита в исследованных образцах сырых костей подтверждается, но при этом обнаруживается несколько более высокая кристалличность биоапатита в черепных костях по сравнению с челюстными и трубчатыми.



**Рис. 10.** Типичные рентгеновские дифрактограммы костного биоапатита: а–в – сырые кости, соответственно череп, челюсть, трубчатая кость; г – кальцинированная кость

При переходе к кальцинированным костям рентгеновская картина принципиально изменяется. В рентгенограммах таких костей для биоапатита регистрируются те же отражения, но гораздо более узкие – в 5–6 раз. Расщепление главного пика имеет здесь многократно большее разрешение, а вышеобозначенные критерии свидетельствуют о более высокой – в 5–10 раз – степени кристалличности биоапатита: средние данные:  $I_{2.78}/I_{2.82} = 0.28$ ;  $I_{2.72}/I_{2.82} = 0.60$ . Все это, очевидно, обусловлено термической обработкой костей. Дополнительные данные о конституции костного биоапатита содержатся в спектроскопии ИК-поглощения (рис. 11). В полученных от сырых костей спектрах наблюдается, прежде всего, расщепление пика с максимумом около  $585\text{--}590\text{ см}^{-1}$  на два пика с максимумами при  $564\text{--}566$  и  $603\text{--}604\text{ см}^{-1}$ . Известно (Lee Thorp, Sponheimer, 2003), что такое расщепление происходит в костях

умерших животных как результат пост-смертной окристаллизации биоапатита, степень которой со временем непрерывно возрастает. В рассматриваемом случае степень расщепления соответствует датировкам ископаемых костей в 500–1000 лет, что вполне коррелируется с периодом позднего средневековья. Кроме отмеченного дублета, в ИК-спектрах сырых костей выявляется серия полос поглощения на анионных группах  $[\text{PO}_4]$  и  $[\text{CO}_3]$ : 1) полоса с максимумом при  $1033\text{--}1057\text{ см}^{-1}$  и сателлитом на высокочастотном крыле при  $1088\text{--}1093\text{ см}^{-1}$  – поглощение на анионах  $[\text{PO}_4]$ ; 2) дублет полос с максимумами при  $1413\text{--}1419$  и  $1454\text{--}1457\text{ см}^{-1}$  – поглощение на группах  $[\text{CO}_3]$ , замещающих анионы  $[\text{PO}_4]$ ; 3) полоса с максимумом при  $1539\text{--}1558\text{ см}^{-1}$  – поглощение на группах  $\text{CO}_3$  в позиции валентного аниона; 4) полоса с максимумом при  $1648\text{--}1650\text{ см}^{-1}$  – поглощение на группах  $[\text{CO}_3]$ , замещающих анионы  $[\text{PO}_4]$ .



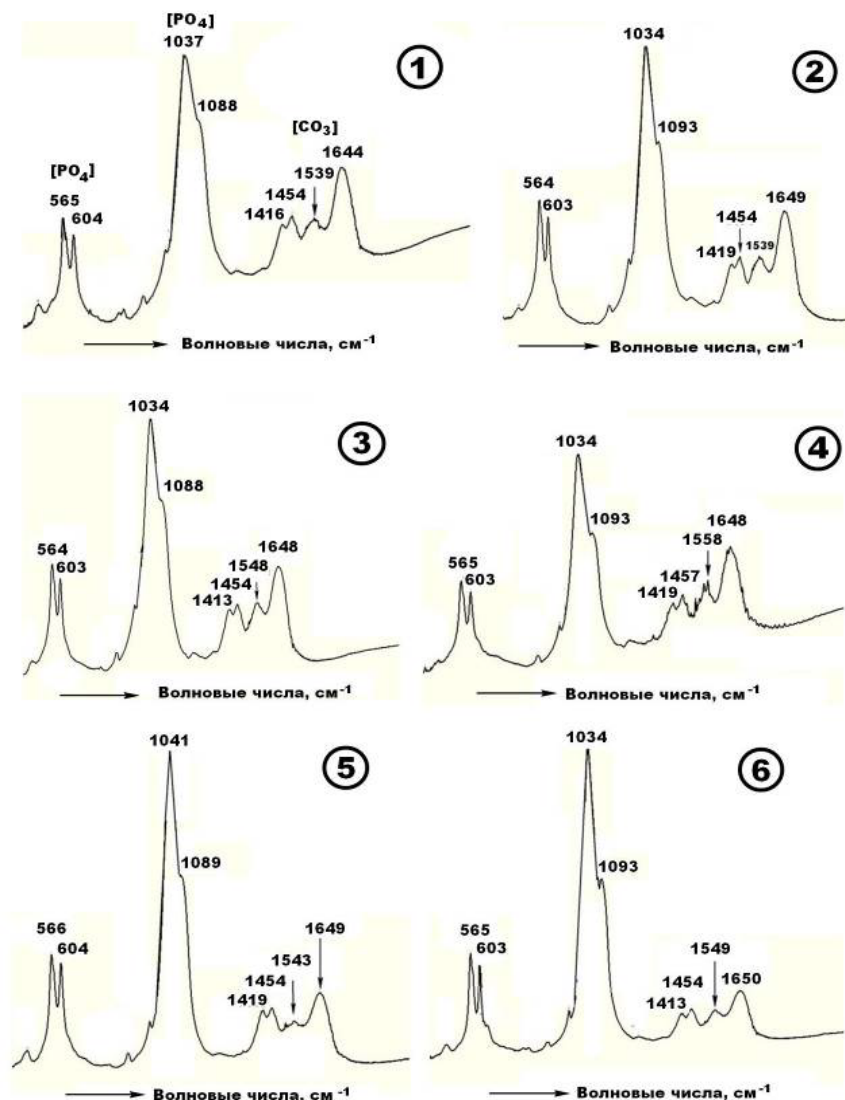


Рис. 11. Типичные спектры ИК-поглощения в биоапатите сырых костей: 1, 2 – череп; 3, 4 – челюсти; 5, 6 – трубчатые кости

Таким образом, судя по ИК-спектрам, мы в сырых костях имеем дело с карбонататапатитом АВ-типа (Озаровская, Зорина, 2007). Степень карбонизации этого биоапатита, оцененная по отношению суммы интенсивностей полос в дублете 1413–1419 и 1454–1457  $\text{см}^{-1}$  к интенсивности полосы 1033–1057  $\text{см}^{-1}$  поглощения на фосфатном анионе, составляет в среднем  $0.17 \pm 0.03$ , несколько повышаясь в направлении от черепов к челюстям и далее трубчатым костям. Средняя степень кристалличности этого минерала, определенная по ширине пика 1033–1057  $\text{см}^{-1}$ , составила  $136.5 \pm 10.9 \text{ см}^{-1}$ .

В кальцинированных костях степень карбонизации биоапатита оценивается по ИК-спектрам (рис. 12) в  $0.05 \pm 0.01$ , а степень

кристалличности – в  $55 \pm 14 \text{ см}^{-1}$ . Таким образом, обнаруживается, что кальцинированные кости, по сравнению с сырыми костями, в 3–4 раза менее карбонизированы и в 2–2.5 раза более кристалличны. Очевидно, что оба эти эффекта взаимосвязаны и обусловлены термическим фактором. Полученные данные о химическом составе и ИК-спектроскопических свойствах исследованных костей дают возможность рассчитать средние эмпирические формулы присутствующего в них биоапатита: 1) череп –  $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{5.62}\text{C}_{0.38}\text{O}_{24}](\text{OH})_{1.2}(\text{CO}_3)_{0.2}$ ; 2) челюсти –  $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{5.71}\text{C}_{0.29}\text{O}_{24}](\text{OH})_{1.35}(\text{CO}_3)_{0.18}$ ; 3) трубчатые кости –  $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{5.65}\text{C}_{0.35}\text{O}_{24}](\text{OH})_{1.53}(\text{CO}_3)_{0.06}$ ; 4) кальцинированные кости –  $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{5.88}\text{C}_{0.12}\text{O}_{24}](\text{OH})_{1.88}$ .

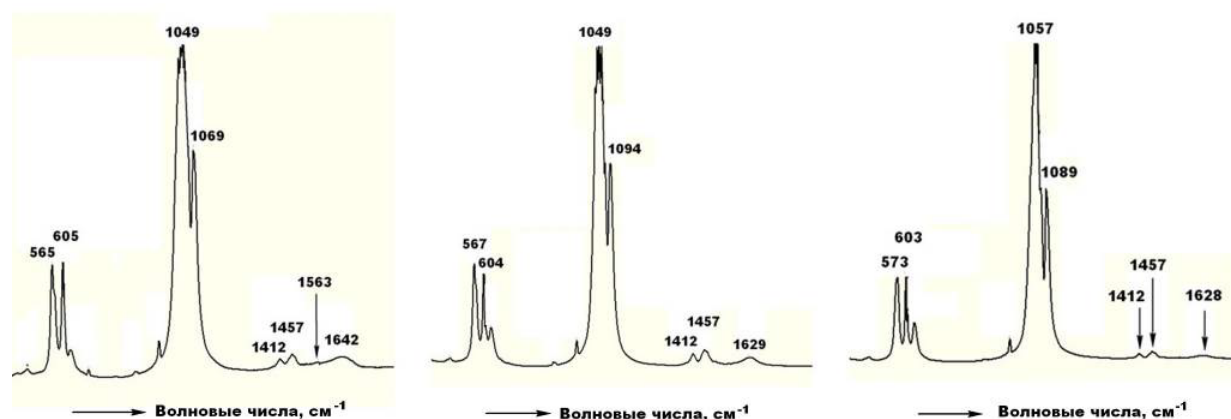


Рис. 12. Спектры ИК-поглощения в биоапатите кальцинированных костей

Из приведенных формул следует, что в случае сырых костей мы действительно имеем дело с карбонатапатитом АВ-типа, в котором среднее отношение компонент В/А варьируется от 1.61 в челюстных костях до 1.9 в черепных и до 5.83 в трубчатых. В кальцинированных костях биоапатит практически нацело представлен карбонатапатитом В-типа.

### Органический матрикс

Присутствие органического вещества в сырых костях легко выявляется термическим методом. На полученных нами кривых нагревания (рис. 13) в диапазоне 20–600°C зарегистрированы все три характерные для костей термические эффекты (табл. 6): 1) эндотермический пик А с экстремумом при 60–80°C, обусловленный низкотемпературной дегидратацией кости с потерей веса 2.5–10% исходной массы; 2) преобладающий по интенсивности экзотермический пик В1 с экстремумом при 330–355°C, сопровождающийся потерей веса в 6–13.5%; 3) экзотермический пик В2 с экстремумом при 400–462°C с потерей веса в 4–30%. Оба экзотермических эффекта отражают выгорание органического вещества, проявлены весьма четко, как это бывает у относительно молодых ископаемых костей (Смирнов и др., 2009). При дальнейшем нагревании происходит декарбонатизация биоапатита с переходом гидроксилкарбонатапатита в гидроксилapatит и выделением CO<sub>2</sub>, что на кривых нагревания проявляется в эндозффекте с максимумом 750–800°C.

Зубы, в отличие от костей, характеризуются на кривых нагревания слабо выраженными и нечетко разделяющимися экзозффектами с максимумами в диапазоне 289–360°C с минимальной потерей веса в 0.3–3%. Это объясняется на порядок более низким содержанием в зубных костях органического вещества.

Оценки содержания коллагена в сырых костях, по данным термического анализа, составляют: размах = 15.19–35.82 вес. %; среднее ± СКО = 27.86 ± 8.32 (30%). Оценка содержания коллагена в сырых костях, по данным химического анализа, несколько отличается: размах = 13.12–27.52 вес. %; среднее ± СКО = 21.71 ± 4.47 (21%). То есть данные химического анализа систематически ниже данных ДТА в среднем на 22%. Отношение данных ХА/ДТА = 0.82 ± 0.2. Парная корреляция между данными ДТА и ХА = 0.77, что указывает на хорошую их сходимость. В целом, полученные данные свидетельствуют о хорошей сохранности органического матрикса в сырых костях.

В кальцинированных костях коллаген практически не выявляется. На кривых нагревания таких костей иногда отмечается только незначительный по интенсивности эндотермический эффект с максимумом в диапазоне 750–800°C, что обусловлено декарбонатизацией карбонат апатита В-типа. Этот факт свидетельствует о том, что кальцинированные кости претерпевали отжиг до температуры 800°C, но выдерживались при этой температуре относительно недолго, что и обеспечило сохранение в них реликтов структурного CO<sub>3</sub>.

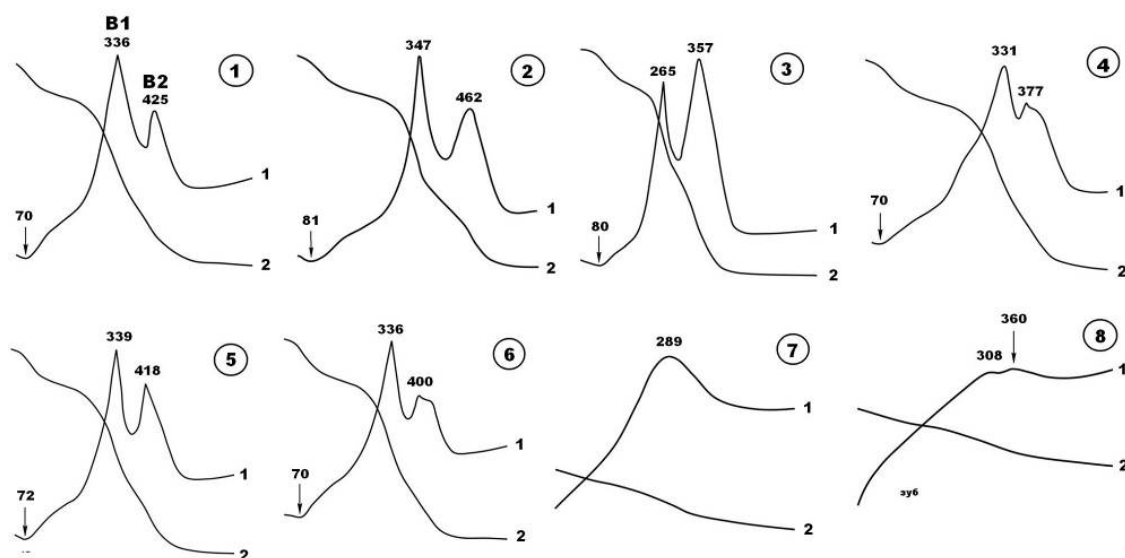


Рис. 13. Типичные результаты термического анализа исследованных сырых костей: 1, 2 – череп; 3, 4 – челюсть; 5, 6 – трубчатые кости; 7, 8 – зубы

Таблица 6. Результаты термического анализа исследуемых костей

Анатомическая привязка	Эндотермический эффект		Экзотермический эффект В1		Экзотермический эффект В2		Отношение интенсивностей $I_{B1}/I_{B2}$
	Т°С	Потеря веса, %	Т°С	Потеря веса, %	Т°С	Потеря веса, %	
Фрагменты черепа	70	4.06	336	10.01	425	10.38	2.76
	70	4.0	338	10.23	418	8.09	2.5
	78	4.93	342	12.58	448	11.95	2.55
	80	4.8	344	13.42	462	14.1	2.17
	74	4.45	340	12.84	445	13.07	1.87
	70	4.06	336	10.01	425	10.38	2.76
	64	4.23	355	9.62	401	7.81	2.32
	77	4.65	340	11.7	435	12.37	1.28
	81	5.71	347	11.66	462	14.09	1.81
	77	4.91	344	12.06	449	12.92	2.27
71	4.25	336	6.87	420	6.34	3.04	
Среднее ± СКО	74 ± 5	4.55 ± 0.52	342 ± 6	11.08 ± 1.96	435 ± 19	11.05 ± 2.66	2.3 ± 0.5
Фрагменты челюсти	80	5.44	265	15.2	357	18.8	0.91
	61	6.79	263	17.88	381	26.65	0.65
	94	5.41	338	10.29	410	16.31	0.88
	70	3.28	331	8.78	377	7.79	2.4
	75	4.41	339	12.41	424	11.78	2.12
	77	2.42	334	6.03	386	3.98	2.86
Среднее ± СКО	76 ± 11	4.62 ± 1.59	312 ± 37	11.76 ± 4.33	389 ± 24	14.22 ± 8.15	1.64 ± 0.94
Фрагменты трубчатых костей	80	9.61	269	31.38	353	29.89	1.16
	72	4.17	339	10.72	418	7.52	1.66
	70	3.25	336	7.1	400	6.97	3.86
Среднее ± СКО	74 ± 5	5.68 ± 3.44	315 ± 40	16.4 ± 13.1	390 ± 33	14.79 ± 13.08	2.23 ± 1.44
Зубы	Не обнаружен		308	1.33	360	0.32	1.33
	«		289	2.79	Не обн.		Не опр.

Выделение костного коллагена из исследуемых костей осуществлялось методом химической деминерализации, в результате которой было получено костное органическое вещество с выходом из сырых костей в пределах  $27.95 \pm 6.89$  вес. %. Очевидно, что полученный результат лишь немного уступает современным костям. Выделенный из сырых костей коллаген (рис. 14) хотя и характеризуется бурым цветом, обнаруживает неплохую сохранность фибрилло-волоконистых структур, что тоже свойственно относительно молодым ископаемым костям.

Для кальцинированных костей получен выход органического вещества на порядок меньший –  $3.98 \pm 2.39$  вес. %. В продуктах деминерализации наблюдаются лишь реликты сильно разрушенного коллагена.

Элементный состав коллагена в сырых костях анализировался методом газовой хроматографии. Полученные данные по образцам оказались довольно близкими (мас. %): C =  $44.82 \pm 1.18$ ; N =  $13.93 \pm 1.07$ ; H =  $6.63 \pm 0.25$ ; C/N<sub>ат</sub> =  $3.76 \pm 0.21$ . В результате аминокислотного анализа в этом коллагене было выявлено 15 белковых аминокис-

лот (АК), многие из которых представлены обоими (L, D) энантиомерами (табл. 7).

Валовое содержание АК варьируется в диапазоне  $729.96 \pm 100.05$  мг/г, что вполне соответствует ископаемым костям средневекового возраста. Групповые содержания АК во всех исследованных анатомических разновидностях сырых костей однообразно снижаются в последовательности алифатические > гетероциклические > кислые > гидроксильные > ароматические > основные > серосодержащие, что совпадает с принципиальной последовательностью в коллагеновых белках и аналогичными последовательностями, установленными для ископаемых костей в диапазоне от палеолита до современности.

Примечание. СЧ – современный человек, ТИГ – тоболо-иртышский тюрок, средневековье, юг Красноярского края; УПС – Усть-Полуйское святилище, поздний железный век, Салехард; БЧ – байгаринский человек, мезолит, Западная Сибирь; УИЧ – устьишимский человек, палеолит, Западная Сибирь.

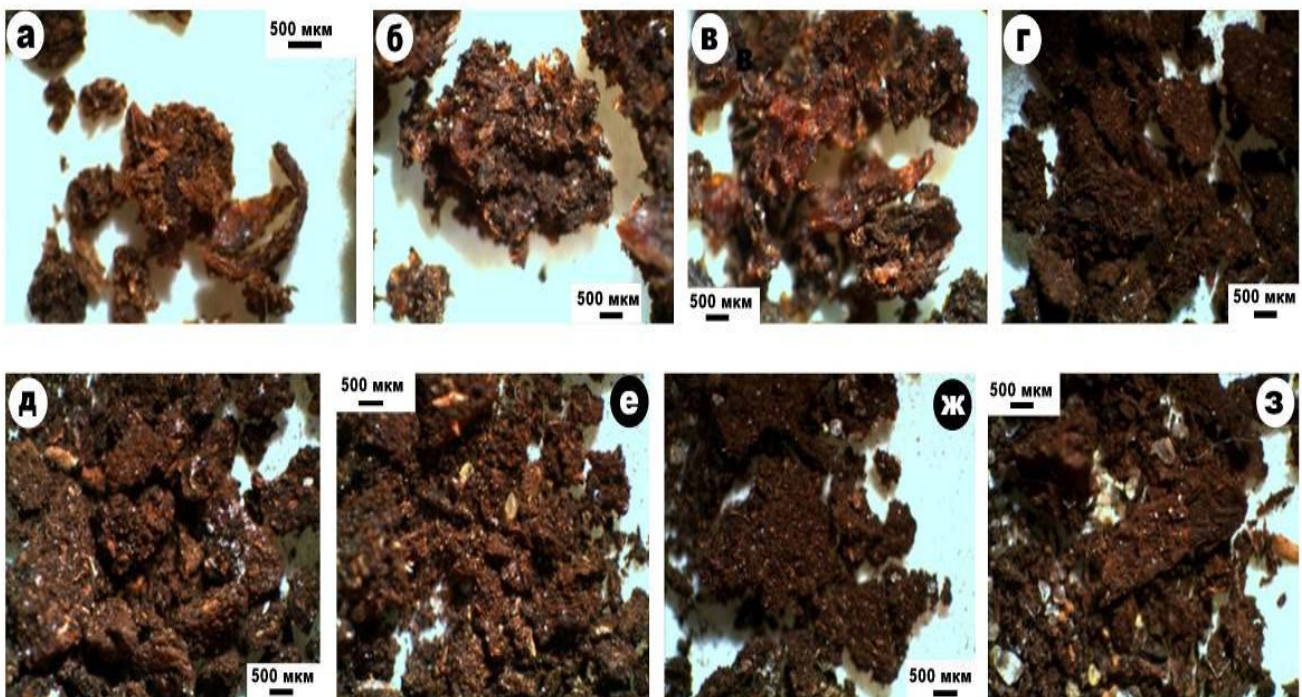


Рис. 14. Костный коллаген, выделенный из фрагментов черепов (а–г), трубчатых костей (д–ж) и позвонка (з)

Таблица 7. Содержание аминокислот в коллагене ископаемых человеческих костей, вес. %

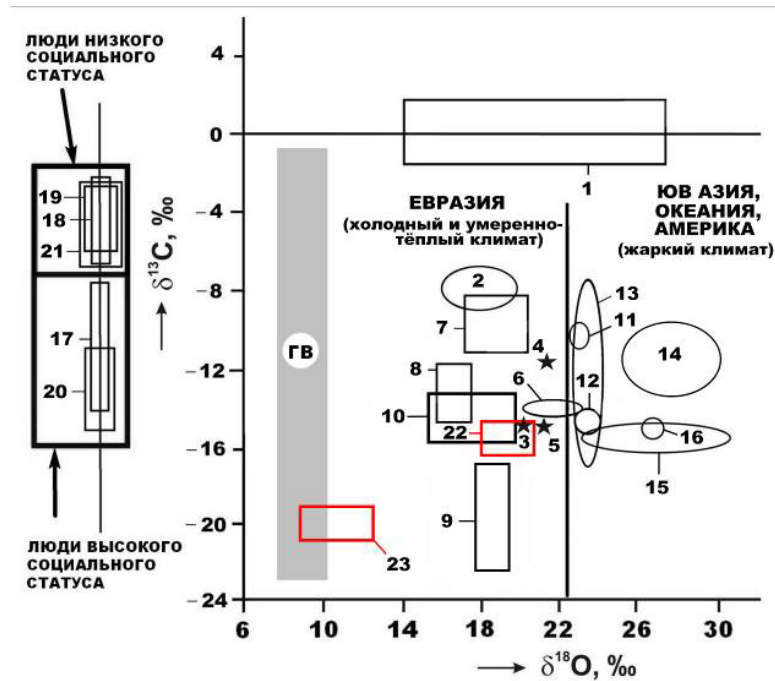
Аминокислоты	Эталонный коллагеновый белок	Чежтыягский могильник			Череп СЧ	Кость ТИТ	Кости в УПС	Кость БЧ	Кость УИЧ
		Череп	Челюсть	Трубчатая кость					
Глицин	22.46	24.26	24.46	24.54	26.03	26.5	25.6–26.29	27.12	29.2
Аланин	7.86	10.51	10.64	9.94	10.39	11.21	10.99–11.84	11.41	12.57
Валин	3.45	2.94	2.72	2.66	2.64	2.95	2.67–2.75	2.71	1.72
Лейцин	2.78	4.0	3.94	3.76	4.11	4.21	3.7–4.28	4.02	3.89
Изолейцин	1.43	1.36	1.13	1.22	1.09	1.25	1.01–1.12	1.07	0.49
Аргинин	8.64	Не опр.							
Группа алифатических АК	46.62	43.07	42.89	42.12	44.26	46.12	43.97–46.48	46.33	47.87
Фенилаланин	2.95	2.54	2.51	2.4	3.06	3.33	2.13–2.85	2.48	3.33
Тирозин	0.86	2.12	1.61	2.62	0.59	0	0–0.18	0.06	0
Группа ароматических АК	3.81	4.66	3.52	5.02	3.65	3.33	2.13–3.03	2.54	3.33
Серин	3.37	4.75	4.89	5.13	4.85	5.7	4.13–5.21	4.64	4.52
Треонин	1.99	2.4	2.38	2.43	1.97	2.57	2.22–2.54	2.36	1.55
Группа гидроксильных АК	5.36	7.15	7.27	7.56	6.82	8.27	6.35–7.75	7.0	6.07
Лизин (группа основных АК)	3.54	4.36	3.27	4.79	3.43	1.62	3.13–4.41	3.61	3.5
Аспарагиновая кислота	4.15	5.56	5.05	5.41	5.61	5.6	5.87–6.26	6.01	3.78
Глутаминовая кислота	9.93	9.3	10.51	8.99	10.02	9.58	9.3–10.27	9.94	7.86
Группа кислых АК	14.08	14.86	15.56	14.4	15.63	15.18	15.17–16.53	15.95	11.64
Пролин	13.47	15.29	15.48	15.22	15.09	14.84	15.01–15.6	15.34	16.61
Оксипролин	11.74	8.76	10.43	9.15	9.01	9.39	9.39–9.81	9.6	10.87
Гиспидин	0.69	Не опр.							
Группа гетероциклических АК	25.9	24.05	25.99	24.37	24.1	24.23	24.4–25.41	24.94	27.48
Метионин (группа серусодержащих АК)	0.69	1.85	0.98	1.68	1.74	1.05	0–0.16	0.63	0

### Палеоэкологические изотопные индикаторы

Изотопный состав углерода, кислорода и азота определялся в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Измерения производились методом проточной масс-спектрометрии в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS) на масс-спектрометре Delta V Advantage, соединенным через газовый коммутатор Confo IV с элементным анализатором Flash EA 1112, в котором производилось сжигание образцов при 1000°C. Для измерений использовался CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>. Значения

$\delta^{13}\text{C}$  даны в ‰ относительно стандарта PDB,  $\delta^{18}\text{O}$  относительно стандарта SMOW, а  $\delta^{15}\text{N}$  относительно воздуха атмосферы (Air). Точность определения изотопного состава, равная  $\pm 0.15\text{‰}$  (1 $\sigma$ ), контролировалась анализом международного стандарта USGS-40 (L-Glutamic acid) и лабораторного стандарта Acetanilide (C<sub>8</sub>H<sub>9</sub>NO).

Полученные для сырых костей изотопные характеристики биоапата варьируются в узких пределах, практически не различаясь в анатомических разностях (‰):  $\delta^{13}\text{C} = -15.41 \pm 1.58\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = 17.48 \pm 2.63\text{‰}$  (рис. 15).



**Рис. 15.** Вариации изотопного состава карбонатных C, O в биоapatите ископаемых костей на фоне некоторых типов экзогенного карбонатного вещества: 1 – фанерозойские морские осадочные карбонатолиты; 2 – карбонатные стяжения в современных аллювиальных осадках; 3 – устьишимский человек, палеолит; 4 – байгаринский человек, мезолит; 5 – тоболо-иртышский тюрок, средневековье; 6 – современные люди, Екатеринбург; 7, 8 – люди из погребений соответственно на территориях верховий р. Енисей (неолит–средневековье) и Северного Приангарья (бронзовый век–средневековье) – данные по коллекции С.М. Слепченко; 9 – люди из погребений на территории Усть-Полуйского археологического памятника, бронзовый–железный века; 10 – люди из курганных могильников на территории Европейского северо-востока, раннее средневековье; 11 – люди эпохи неолита; 12, 13 – люди эпох соответственно палеолита и мезонеолита; 14 – люди железного века–средневековья; 15, 16 – соответственно ископаемые гигантопитек и orangutan, южный Китай; 17, 18 – люди XI–XII вв. соответственно высокого и низкого социальных статусов, США, шт. Иллинойс; 19 – ирокезы XII–XIII вв.; 20, 21 – люди от V в. д. н. э. до XV в. н. э. соответственно высокого и низкого социальных статусов, Западная Европа; 22, 23 – позднесредневековые люди Вычегодско-Вымской земли, соответственно сырые и кальцинированные кости. ГВ – современные грунтовые воды. Поля соответствуют значениям  $\pm$  СКО. Привязка к литературным источникам информации приведена в (Силаев и др., 2019.)

Согласно этим данным, население Вычегодско-Вымской земли проживало в условиях умеренно-теплого влажного климата с избытком пресных вод (малый климатический оптимум) в зоне таежных лесов, сочетавшихся с луговыми ландшафтами (Bocherens, 2003). Оценка по изотопно-калиброванной кривой среднегодовых температур дает для рассматриваемого случая среднегодовые температуры в диапазоне 0 ... +10°C, что соответствует умеренно-теплому и теплому климату. В сравнении с раннесредневековыми жителями на территории Повыхегодья (Силаев и др., 2019.) исследованные представители перми вычегодской обитали в гораздо более комфортной

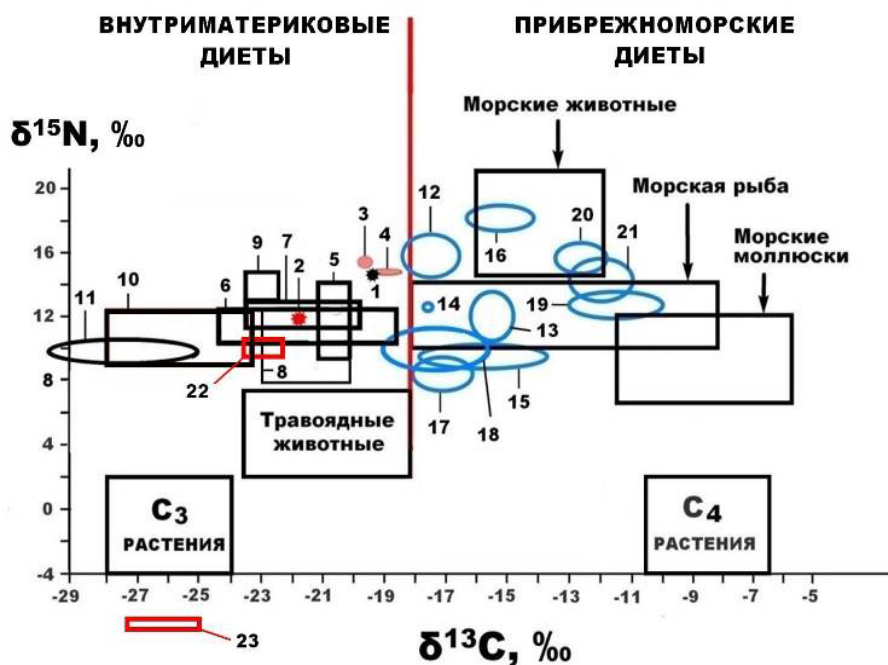
ландшафтно-климатической обстановке, а в рамках социальной иерархии близко современных населений Северной Америки и Западной Европы они соответствовали людям высокого социального статуса (преимущественно мясоедам).

В кальцинированных костях изотопные характеристики биоapatита оказались модифицированными, а именно сильно облегченными:  $\delta^{13}\text{C} = -21 \dots -19\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O} = 9-12.5\text{‰}$ . Очевидно, что этот факт можно объяснить нагреванием костей при трупосожжении. Известно, что при сухой декарбонатизации происходит значительное изотопное облегчение карбонатного углерода в остаточном карбонатном веществе, коррелирующееся с

температурой нагрева и скоростью декарбонатизации (Силаев, Хазов, 2003). Именно это мы и наблюдаем на примере исследуемых кальцинированных костей.

Судя по изотопным характеристикам органического вещества в сырых костях ( $\delta^{13}\text{C} = -23.3 \pm 1.67$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 9.18 \pm 2.42$  (рис. 16), люди, чьи кости были обнаружены

в исследованных могильниках, употребляли в пищу преимущественно мясо одомашненных животных, на что указывает сдвиг по изотопии углерода относительно растений с  $\text{C}_3$ -типом фотосинтеза. Значительную долю их пищевого рациона составляли, вероятно, сельскохозяйственные растения.



**Рис. 16.** Изотопные характеристики костного коллагена: 1 – усть-ишимский человек, палеолит; 2 – байгаринский человек эпохи, мезолит; 3, 4 – люди эпохи мезолита, соответственно Румыния и Сербия; 5–7 – костный материал из могильников неолит-средневекового возраста на территории Центральной Сибири, соответственно Нефтепровод-1, Нефтепровод-2 (верховье Енисея) и Северное Приангарье (данные по коллекции С.М. Слепченко); 8 – люди из погребений на территории Усть-Полуйского археологического памятника; 9 – люди эпохи энеолита, Приднепровье, Украина; 10 – люди раннего средневековья на территории Повыхгодья; 11 – современная речная рыба (зоофаги) Печорского бассейна; 12 – люди бронзового века, северо-западная прикаспийская степь; 13 – люди от мезолита до средневековья, Северное Причерноморье; 14–16 – люди от неолита до средневековья, дальневосточный регион России, соответственно Приморье-Черные Ворота, Приморье-группа могильников, о. Сахалин; 17 – люди XI–XII вв., США; 18 – люди от железного века до средневековья, дальневосточный регион России, р. Амур; 19 – ирокезы XII–XIII вв.; 20 – люди эпохи мезолита, Шотландия; 21 – люди эпохи мезолита, Дания; 22, 23 – позднесредневековые люди Вычегодско-Вымской земли, соответственно сырые и кальцинированные кости. Привязка к литературным источникам информации приведена в (Силаев и др., 2019<sub>1</sub>)

На это, в частности, указывает изотопное облегчение по азоту. Речная рыба в их диете играла гораздо меньшую роль по сравнению с раннесредневековым населением Повыхгодья. Если принимать в расчет вышеупомянутые изотопно-диетарные критерии социального расслоения в средневековых обществах, то и по изотопным характеристикам костного коллагена исследованные предста-

вители перми вычегодской соответствовали людям высокого социального статуса. Можно предполагать, что именно качественный рацион питания обеспечивал особенно благоприятные условия существования людей на рассматриваемой территории.

В коллагене кальцинированных костей удалось проанализировать изотопный состав только углерода, что объясняет крайне низ-

ким в них содержанием органического вещества. Полученные данные –  $\delta^{13}\text{C} = -26.12 \pm 1.22\text{‰}$  – свидетельствуют о существенном изотопном облегчении углерода, причиной чего послужил, очевидно, отжиг исходных сырых костей.

## Заключение

С применением широкого комплекса современных минералогических, физико-химических и изотопных методов исследована представительная коллекция человеческих костей из семи могильников вычегодских пермян XI–XIV вв. Были исследованы фрагменты сырых и кальцинированных костей.

Проанализированные образцы сырых костей характеризуются хорошей сохранностью как компактной (пластинчатой с гаверсовой системой), так и губчатой (трабекулярно-ячеистой) костной ткани. Оценка ультрапористости костно-органического композита показала, что кости из средневековых могильников вычегодских пермян обнаруживают признаки аномальной деградации поровой наноструктуры, обусловленной переходом значительной части первичных нанопор в разряд пор субмикронной размерности, причина чего пока остается неизвестной.

Исследованные сырые кости характеризуются в среднем относительно низким содержанием иллювирированных минеральных примесей во всех анатомических разностях. При этом выявляется неестественное аномально-высокое содержание меди в черепных и челюстных костях, достигающее в среднем 4.5–8 мас. %. Эта аномалия, очевидно, обусловлена присутствием в захоронениях множества медных предметов и медьсодержащих металлических сплавов. Кальцинированные кости отличаются в 2.5–3 раза меньшим содержанием загрязняющих минеральных примесей при полном отсутствии признаков химической медной аномалии.

Биоapatит в исследованных сырых костях обнаруживает хорошую сохранность, соответствуя по атомному отношению Ca/P карбонатапатиту АВ-типа и согласуясь по этому признаку с биоapatитом ископаемых костей позднежелезного века–средневековья. На

таком фоне биоapatит в «кальцинированных» костях оказался в среднем менее кальцинированными, чем даже биоapatит в сырых костях из того же Чежтыгского могильника. То есть «кальцинированные», по мнению археологов, кости, прошедшие процедуру трупосожжения, фактически не являются кальцинированными и заслуживают для своего определения другого термина, например, термина «отожженные».

В составе исследованных костей обнаружены 55 микроэлементов, в том числе 12 элементов-эссенциалов, 18 физиологически-активных и 25 элементов-антибионтов, включая 14 лантаноидов. Отношение групповых концентраций ЭС/АБ изменяется от 21 до 37, что значительно превышает аналогичное отношение в ископаемых костях доголоценового возраста, подчеркивая гораздо лучшую сохранность в средневековых костях органического вещества. Средняя суммарная концентрация микроэлементов в сырых костях варьируется в пределах от 809 до 2304 г/т. В большинстве случаев эта концентрация соответствует археологическому возрасту костей, но в случае фрагментов черепов она оказалась аномально высокой и именно из-за аномально высоких концентраций некоторых элементов – Cu, Sn, Zn, Pb. Очевидно, что отмеченная аномалия может быть объяснена иллювирированием в кости металлов из изделий и украшений. Самой необычной геохимической особенностью исследованных костей является их аномальное обогащение золотом, серебром и платиноидами – палладием и родием. Обогащение благородными металлами можно объяснить эмиссией со стороны захороненных украшений, а вот для понимания причины феномена появления платиноидов в исследованных костях следует провести дополнительные исследования. Содержание микроэлементов в кальцинированных костях примерно соответствует среднему их содержанию в сырых костях, но при этом отношение групповых содержаний элементов эссенциалов и антибионтов в них ниже, чем в сырых костях в среднем на 22%. Понятно, что это обусловлено выгоранием в кальцинированных костях органического вещества.

Согласно рентгеноструктурным и ИК-спектроскопическим данным, биоapatит в



исследованных костях характеризуется относительно низкой степенью кристалличности, что соответствует их средневековому возрасту. Но при этом обнаруживается несколько более высокая кристалличность биоапатита в черепных костях по сравнению с челюстными и трубчатыми. Кальцинированные кости отличаются гораздо более высокой кристалличностью биоапатита, что, очевидно, обусловлено их термической обработкой. Судя по ИК-спектрам, биоапатит в сырых костях представлен карбонатапатитом АВ-типа, а в кальцинированных костях зарегистрирован только карбонатапатит В-типа. Последнее тоже объясняется термическим воздействием.

Содержание коллагена в сырых костях, по данным химического анализа, лежит в пределах  $21.71 \pm 4.47$  мас. %, что свидетельствует о хорошей сохранности костного органического матрикса. Выделенный из сырых костей коллаген хотя и характеризуется бурым цветом, обнаруживает неплохую сохранность фибрилло-волоконистых структур. В его составе выявлено 15 белковых аминокислот, многие из которых представлены обоими (L, D) энантиомерами. Валовое содержание аминокислот варьируется в диапазоне  $729.96 \pm 100.05$  мг/г, что соответствует ископаемым костям средневекового возраста. Групповые содержания аминокислот во всех исследованных анатомических разновидностях костей однообразно снижаются в последовательности алифатические > гетероциклические > кислые > гидроксильные > ароматические > основные > серосодержащие. Эта последовательность вполне совпадает с принципиальной последовательностью групп в коллагеновых белках и с аналогичными последовательностями, установленными нами для ископаемых костей в диапазоне от палеолита до современности. В кальцинированных костях коллаген практически не выявлен. Судя по кривым нагревания, такие кости претерпевали отжиг до температуры  $800^\circ\text{C}$ .

Согласно изотопным данным, полученным по биоапатиту и костному коллагену, население Вычегодско-Вымской земли проживало в условиях умеренно-теплого влажного климата с избытком пресных вод в

зоне таежных лесов в сочетании с луговыми ландшафтами и (малый климатический оптимум). Среднегодовые температуры колебались в диапазоне  $0 \dots +10^\circ\text{C}$ , что соответствует умеренно-теплому и теплому климату. В сравнении с раннесредневековым населением на рассматриваемой территории вычегодские пермяне обитали в гораздо более комфортной ландшафтно-климатической обстановке. А в сравнении с близко одновременным населением Северной Америки и Западной Европы они вообще соответствовали людям высокого социального статуса (преимущественно мясоедам). Судя по изотопным характеристикам органического вещества в сырых костях, люди, представленные костями в исследованных могильниках, были потребителями в значительной степени мяса одомашненных животных. Значительную долю их пищевого рациона составляли также сельскохозяйственные растения, на что указывает изотопное облегчение по азоту. Речная рыба в их диете играла гораздо меньшую роль по сравнению с раннесредневековым населением Повеячогдья. Если принимать в расчет изотопно-диетарные критерии социального расслоения в средневековых обществах, то вычегодские пермяне соответствовали людям высокого социального статуса. Можно предполагать, что именно качественный рацион питания и обеспечивал особенно благоприятные условия существования людей на рассматриваемой территории.

В кальцинированных костях изотопные характеристики биоапатита оказались сильно модифицированными, а именно сильно облегченными. Очевидно, что это можно связать с нагреванием костей при трупосожжении. В целом, полученные результаты показали, что «кальцинированные», по мнению археологов, кости в действительности не являются кальцинированными и требуют для своего определения другой термин.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность за содействие и консультации В. И. Хатановича, зав. отделом Музея антропологии и этнографии имени Петра Великого; П. А. Косинцева, старшего научного сотрудника Института экологии расте-

ний и животных УрО РАН; М. Ф. Самотолкова, старшего физика и В. А. Радаева, старшего инженера Институт геологии Коми НЦ УрО РАН.

Археологическая часть подготовлена в рамках плановой темы ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН «Особенности формирования населения севера Европейской части России в эпоху камня, раннего металла и средневековья по данным археологии» № ГР 122040800168–4.

Содержания микроэлементов определены в ЦКП ИГГ УрО РАН «Геоаналитик» при финансовой поддержке гранта РФФИ научного проекта № 20-09-00194 А и в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (номер государственной регистрации АААА-А18-118053090045-8).

Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2021-680.

### Библиографический список

- Адамова Л., Кондратенко Б. О тяжелых металлах, о «минотавре», об атомной абсорбции // Вестник ИБ, 2002. № 3. С. 17–18.
- Астахова И. С., Савельева Э. А. Бронзолитейное производство вычегодских пермян (по материалам нижневычегодского Чжтыягского могильника) // Вестник геонаук, 2022. № 4. С. 38–50.
- Ашихмина Л. И., Филиппов В. Н. Рентгеновский микрозондовый анализ (спектральный) анализ металлических изделий курганных могильников в бассейне реки Вычегды // Археоминералогия и ранняя история минералогии: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 47–51.
- Бирюков А. В., Завьялов И. В., Савельева Э. А. Технология кузнечного производства эпохи средневековья на Европейском Северо-Востоке (бассейн рек Вычегды и Лузы). Сыктывкар, 2006. С. 10–27.
- Буров Г. М. Древний Синдор. М.: Наука, 1967. 220 с.
- Вострокнутов А. В. Шумящие украшения Пермского Предуралья конца XI–XIV века нашей эры. СПб: Изд-во «Маматов», 2020. 328 с.
- Голдина Р. Д. Истоки «дальнего импорта» в Приуралье // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2012. Вып. 2 (10). С. 108–119.
- Гулицер Б. И., Каневец В. И. Пещеры Печорского Урала. М. Л., 1965 134 с.
- Добровольская М. В. Человек и его пища. М.: Научный мир, 2005 367 с.
- Жамойда А. И. В. Ф. Петрунь – один из основателей археологической петрологии // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2006. № 1. С. 32–34.
- Житие Стефана Пермского // Святитель Стефан Пермский (К 600-летию со дня представления). СПб.: Изд-во «Глагол». 1995. С. 50–263.
- Зайков В. В. Древнее золото Урала // Наука Урала, 2015. С. 23–24.
- Истомина Т. В. Комплекс погребения 37 Чжтыягского могильника // Проблемы финно-угорской археологии Урала и Поволжья. Сыктывкар, 1972. С. 127–136.
- Каневец В. И. Канинская пещера. М.: Наука, 1964. 136 с.
- Кораго А. А. Введение в биоминералогия. СПб: Недра, 1992. 280 с.
- Королев К. С., Савельева Э. А. Минералы в культуре предков коми-зырян // История и философия минералогии: Материалы II Международного минералогического семинара. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 1999. С. 98–99.
- Озаровская О. В., Зорина М. Л. Изучение биогенного апатита костной ткани по данным инфракрасной спектроскопии // Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров: Материалы IV Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2007. С. 123–124.
- Орлов Д. С. Микроэлементы в почвах и живых организмах // Соросовский образовательный журнал, 2009. № 1. С. 61–68.
- Петрунь В. Ф. Полезные ископаемые дометаллического периода развития человеческого общества // Научные труды Криворожского ГРИ, 1961. Вып. XI. С. 66–80.
- Рубежанский А. Ф. Определение по костным остаткам древности захоронения трупа. М.: Медицина, 1978. 120 с.
- Савельева Э. А. Вымские могильники XI–XIV вв. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 200 с.
- Савельева Э. А. Кичилькосьский I могильник. Сыктывкар, 2019. 230 с.
- Савельева Э. А. Пермь вычегодская. М.: Наука, 1971. 223 с.
- Савельева Э. А. Этнокультурные связи нижневычегодских пермян с населением Подвинья в эпоху средневековья (по материалам погребального обряда Чжтыягского могильника) // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия. «История и филология», 2021. № 4 (50). С. 13–24.
- Святко С. В. Анализ стабильных изотопов: основы метода и обзор исследований в Сибири и Евразийской степи // Археология, этнография и антропология Евразии, 2016. Т. 44. № 2. С. 47–55.

Силаев В. И., Анойкин А. А., Павленок Т. Д., Хазов А. Ф., Филиппов В. Н., Киселёва Д. В., Шанина С. Н., Макеев Б. А., Уразова К. К. Костные остатки млекопитающих с палеонтологической стоянки Ушбулак (Северо-Восточный Казахстан): археологический контекст, минералого-геохимические свойства и палеоэкологические реконструкции // Вестник геонаук, 2022. № 4. С. 3–37.

Силаев В. И., Белицкая А. Л., Туркина Т. Ю., Смолева И. В., Хазов А. Ф., Киселева Д. В. Окружающая среда и диета населения раннего средневековья Европейского северо-востока (по данным изотопно-геохимического анализа антропологических материалов из могильников V–VII вв. н. э.) // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2019. № 3(39). С. 53–64.

Силаев В. И., Косинцев П. А., Филиппов В. Н., Киселёва Д. В., Смолева И. В., Солошенко Н. Г., Окунева Т. Г., Чередниченко Н. В., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Байгаринский человек эпохи мезолита: минералого-геохимические исследования, палеоэкологические реконструкции и история ранних миграций человека на территорию Западной Сибири // Вестник геонаук, 2021. № 5. С. 5–26.

Силаев В. И., Паршукова М. Н., Гимранов Д. О., Филиппов В. Н., Киселёва Д. В., Смолева И. В., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Минералого-геохимические особенности пещерной фоссиллизации ископаемых костей на примере пещеры Иманай (Южный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 4. С. 323–358.

Силаев В. И., Паршукова М. Н., Слепченко С. М., Смолева И. В., Киселёва Д. В., Шанина С. Н., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Усть-Полуйское городище-святилище: опыт минералого-геохимических исследований человеческих костных останков. Сыктывкар: ИГ Коми научно-го центра УрО РАН, 2017. 64 с.

Силаев В. И., Пономарев Д. В., Симакова Ю. С., Шанина С. Н., Смолева С. В., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Современные исследования ископаемого костного детрита: палеонтология, минералогия, геохимия // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 5. С. 19–31.

Силаев В. И., Слепченко С. М., Бондарев А. А., Смолева И. В., Киселёва Д. В., Шанина С. Н., Мартиросян О. В., Тропников Е. М., Хазов А. Ф. Усть-ишимская кость: минералого-геохимические свойства как источник палеонтологической, палеоантропологической и палео-

экологической информации // Вестник Пермского университета. Геология, 2017. Вып. 1. С. 6–30.

Силаев В. И., Шанина С. Н., Смолева И. В., Хазов А. Ф., Туманова Е. А., Павлов П. Ю. Опыт использования минералого-геохимических свойств костных остатков на палеонтологической стоянке Заозерье (Средний Урал) // ПАЖМИ, 2019. № 2. С. 35–77.

Силаев В. И., Хазов А. Ф. Изотопное диспропорционирование карбонатного углерода в процессах гипергенно-экзогенной перегруппировки вещества земной коры. Программа фундаментальных исследований РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 41 с.

Смирнов В. И., Вотяков С. А., Садыкова Н. О., Киселева Д. В., Щанова Ю. В. Физико-химические характеристики костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста. Часть I. Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. Екатеринбург: «Гошицкий», 2009. 118 с.

Уляхович Н. А. Комплексы металлов в живых организмах // Соросовский образовательный журнал, 1997. № 8. С. 27–32.

Формозов А. А. Первый опыт комплексного исследования памятников первобытной культуры в России // Природа, 1983. № 1. С. 82–89.

Юшкин Н. П. Археоминералогия: становление и перспективы // Археология и ранняя история минералогии: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 5–6.

Юшкин Н. П. Перспективы археоминералогии // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2005. № 6. С. 20–21.

Bocherens H. Isotopic Biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe Fauna // Advances in Mammoth Research. Densee, 2003. P. 57–76.

Lee-Thorp J. A., Sponheimer M. The case Studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies // J. Antropol. Archaeol. 2003. V. 22. P. 208–216.

Mitchell R. D. Archaeomineralogy: an annotated bibliography on North and Central America (1840–1981) // Anthropology Teaching Museum research paper, 1986. № 1. P. 1–4.

Silaev V. I., Ponomarev D. V., Kiseleva D. V., Smoleva I. V., Simakova Yu. S., Martirosyan O. V., Vasiliev E. A., Khazov A. F., Tropnikov E. M. Mineralogical-Geochemical Characteristics Of The Bone Detritus of Pleistocene Mammals as a Source of Paleontological Information // Paleontological Journal, 2017. V. 51. № 13. P. 1395–1421.

# Bone Remains from Burial Grounds of Perm Vychevodskaya (XI–XIV): Results of Multidisciplinary Research and Environmental Historical Reconstructions

V.I. Silaev<sup>b</sup>, E.A. Savelyeva<sup>a</sup>, A.F. Khazov<sup>b</sup>, S.N. Shanina<sup>b</sup>, I.V. Smoleva<sup>b</sup>, E.M. Tropnikov<sup>b</sup>, B.A. Makeev<sup>b</sup>, D.V. Kiseleva<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute of LLH, Komi SC, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 24 Kommunisticheskaya Str., Syktyvkar 167982, Russia E-mail: eleonorasav@yandex.ru

<sup>b</sup>Institute of Geology, Komi SC, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167982, Russia E-mail: silaev@geo.komisc.ru

<sup>c</sup>Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 15 Academician Vonsovsky Str., Yekaterinburg 620110, Russia. E-mail: podarenko@mail.ru

Using a wide range of modern mineralogical and physicochemical methods, a representative collection of human bones from seven burial grounds of the Vychevda Permians of the 11th–14th centuries was studied. The microstructure of bones, their chemical and normative-mineral composition, the content of microelements, the nanoporosity of the organo-mineral composite, the composition and properties of bioapatite and bone collagen were analyzed. Fundamental differences in the properties of raw and so-called calcified bones are determined. Based on isotope data on bioapatite and collagen of raw bones, the climatic conditions for the existence of the Vychevda Permians and their diets were reconstructed.

Key words: *archeology; cemeteries; Vychevda Permian; bone remains; mineralogical and geochemical studies; ecological and historical reconstructions*

## References

- Adamova L., Kondratenok B. 2002. O tyazhelykh metallakh, o «minotavre», ob atomnoy absorbtzii [About heavy metals, about the "minotaur", about atomic absorption]. *Vestnik IB*, 3:17–18. (in Russian)
- Astakhova I. S., Savelyeva E.A. 2022. Bronzolitneye proizvodstvo vychevodskikh permyan (po materialam nizhevychevodskogo Chezhtyyagskogo mogilnika) [Bronze foundry production of the Vychevodsk Permians (based on the materials of the Lower Vychevodsk Chezhtyyag burial ground)]. *Bulletin of Geosciences*, 4:38–50. (in Russian)
- Ashikhmina L.I., Filippov V.N. 2005. Rentgenovskiy mikrozonovyy analiz (spektralnyy) analiz metallicheskikh izdeliy kurgannykh mogilnikov v basseynе reki Vychevdy [X-ray microprobe analysis (spectral) analysis of metal products of burial mounds in the Vychevda River basin]. *In: Archeomineralogy and early history of mineralogy: Proceedings of the International Seminar*. Syktyvkar: Geoprint, pp. 47–51. (in Russian)
- Biryukov A.V., Zavyalov I.V., Savelyeva E.A. 2006. Tekhnologiya kuznechnogo proizvodstva epokhi srednevekovyа na Evropeyskom Severo-Vostoke (basseyn rek Vychevdy i Luzy) [Technology of blacksmith production in the Middle Ages in the European North-East (the basin of the Vychevda and Luza rivers)]. Syktyvkar, pp. 10–27. (in Russian)
- Burov G.M. 1967. Drevniy Sindor [Ancient Sindor]. Moskva, Nauka, p. 220. (in Russian)
- Vostroknutov A.V. 2020. Shumyashchiye ukrasheniya Permskogo Preduralya kontsa XI–XIV veka nashey ery [Noisy decorations of the Perm Cis-Urals at the end of the 11th–14th centuries AD]. St. Petersburg, Mamatov Publishing House, p. 328. (in Russian)
- Goldina R.D. 2012. Istoki «dalnego importa» v Priuralye [The origins of "long-distance imports" in the Urals]. *News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2(10):108–119. (in Russian)
- Guslitser B.I., Kanivets V.I. 1965. Peshchery Pechorskogo Urala [Caves of the Pechora Urals]. M.-L., p. 134. (in Russian)
- Dobrovolskaya M.V. 2005. Chelovek i yego pishcha [Human and his food]. M.: Scientific world, p. 367. (in Russian)
- Zhamoida A.I. 2006. V. F. Petrun – odin iz osnovateley arkheologicheskoy petrologii [V. F. Petrun is one of the founders of archaeological petrology]. *Bulletin of the IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 1:32–34. (in Russian)
- Zhitiye Stefana Permskogo [Life of Stephen of Perm]. 1995. Saint Stephen of Perm (To the 600th anniversary of the performance). SPb. Publishing house Verb. pp. 50–263. (in Russian)

- Zaikov V.V.* 2015. Drevneye zoloto Urala [Ancient gold of the Urals]. *In: Science of the Urals*, pp. 23–24. (in Russian)
- Istomina T.V.* 1972. Kompleks pogrebeniya 37 Chezhtyyagского могилника [Complex of burial 37 of the Chezhtyyag burial ground]. *In: Problems of Finno-Ugric archeology of the Urals and the Volga region*. Syktyvkar. pp. 127–136. (in Russian)
- Kanivets V.I.* 1964. Kaninskaya peshchera [Kaninskaya Cave]. *M. Nauka*, p. 136. (in Russian)
- Korago A.A.* 1992. Vvedeniye v biomineralogiyu [Introduction to biomineralogy]. St.-Petersburg. Nedra, p. 280. (in Russian)
- Korolev K.S., Savelyeva E.A.* 1999. Mineraly v kulture predkov komi-zyryan [Minerals in the culture of the ancestors of the Komi-Zyryans]. *In: History and philosophy of mineralogy: Proceedings of the II International Mineralogical Seminar*. Syktyvkar: IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. pp. 98–99. (in Russian)
- Ozarovskaya O.V., Zorina M.L.* 2007. Izucheniye biogennogo apatita kostnoy tkani po dannym infrakrasnoy spektroskopii [The study of biogenic apatite of bone tissue according to infrared spectroscopy]. *In: Mineralogy and life: the origin of the biosphere and the co-evolution of the mineral and biological worlds: Proceedings of the IV International Mineralogical Seminar*. Syktyvkar. Geoprint, pp. 123–124. (in Russian)
- Orlov D.S.* 2009. Mikroelementy v pochvakh i zhivykh organizmakh [Trace elements in soils and living organisms]. *Soros Educational Journal*, 1:61–68. (in Russian)
- Petrin V.F.* 1961. Poleznyye iskopayemye dometallichesкого периода razvitiya chelovechesкого obshchestva [Minerals of the pre-metallic period of the development of human society]. *In: Scientific works of the Krivoy Rog GRI*. XI. pp. 66–80. (in Russian)
- Rubezhanskiy A.F.* 1978. Opredeleniye po kostnym ostatkam drevnosti zakhroneniya trupa [Determination of the bone remains of the ancient burial of the corpse]. *Moscow. Medicine*, p. 120. (in Russian)
- Savelyeva E.A.* 1987. Vymskiye mogilniki XI–XIV vv. [Vym burial grounds of the XI–XIV centuries]. Publishing House of Leningrad State University, p. 200. (in Russian)
- Savelyeva E.A.* 2019. Kichilkoskiy I mogil'nik [Kichilkoskiy I burial ground]. Syktyvkar, p. 230. (in Russian)
- Savelyeva E.A.* 1971. Perm vychehodskaya [Vychehod Perm]. *Nauka*, p. 223. (in Russian)
- Savelieva E.A.* 2021. Etnokulturnye svyazi nizhnevychehodskikh permyan s naseleniyem Podvinya v epokhu srednevekovya (po materialam pogrebnogo obryada Chezhtyyagского могилника) [Ethno-cultural ties between the Lower Vychehodsk Permians and the population of the Dvina region in the Middle Ages (based on the materials of the funeral rite of the Chezhtyyag burial ground)]. *Izvestiya of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series. History and Philology*. 4(50):13–24. (in Russian)
- Svyatko S.V.* 2016. Analiz stabilnykh izotopov: osnovy metoda i obzor issledovaniy v Sibiri i Evraziyskoy stepi [Analysis of stable isotopes: fundamentals of the method and review of studies in Siberia and the Eurasian steppe]. *Archeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia*. 44(2):47–55. (in Russian)
- Silaev V.I., Anoykin A.A., Pavlenok T.D., Khazov A.F., Filippov V.N., Kiseleva D.V., Shaniina S.N., Makeev B.A., Urazova K.K.* 2022. Kostnye ostatki mlekopitayushchikh s paleontologicheskoy stoyanki Ushbulak (Severo-Vostochnyy Kazakhstan): arkhologicheskii kontekst, mineralogogekhimicheskiye svoystva i paleoekologicheskiiye rekonstruktsii [Bone remains of mammals from the Ushbulak paleontological site (North-Eastern Kazakhstan): archaeological context, mineralogical and geochemical properties and paleoecological reconstructions]. *Vestnik Geonauk*. 4:3–37. (in Russian)
- Silaev V.I., Belitskaya A.L., Turkina T.Yu., Smoleva I.V., Khazov A.F., Kiseleva D.V.* 2019. Okruzhayushchaya sreda i diyeta naseleniya rannego srednevekovya Yevropeyskogo severo-vostoka (po dannym izotopno-geokhimicheskogo analiza antropologicheskikh materialov iz mogilnikov V–VII vv. n. e.) [Environment and diet of the population of the early Middle Ages of the European North-East (according to the isotope-geochemical analysis of anthropological materials from cemeteries of the 5th–7th centuries BC)]. *Izvestiya Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 3(39):53–64. (in Russian)
- Silaev V.I., Kosintsev P.A., Filippov V.N., Kiseleva D.V., Smoleva I.V., Soloshenko N.G., Okuneva T.G., Cherednichenko N.V., Tropnikov E.M., Khazov A.F.* 2021. Baygarinskiy chelovek epokhi mezolita: mineralogogekhimicheskiye issledovaniya, paleoekologicheskiiye rekonstruktsii i istoriya rannikh migratsiy cheloveka na territoriyu Zapadnoy Sibiri [The Baigarin Human of the Mesolithic: mineralogical and geochemical studies, paleoecological reconstructions and the history of early human migrations to the territory of Western Siberia]. *Bulletin of Geosciences*. 5:5–26. (in Russian)
- Silaev V.I., Parshukova M.N., Gimranov D.O., Filippov V.N., Kiseleva D.V., Smoleva I.V., Tropnikov E.M., Khazov A.F.* 2020. Mineralogogekhimicheskiye svoystva i paleoekologicheskiiye rekonstruktsii [Mineralogical and geochemical properties and paleoecological reconstructions]. *Izvestiya Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series. History and Philology*. 4(50):13–24. (in Russian)

geokhimicheskiye osobennosti peshchernoy fossilizatsii iskopayemykh kostey na primere peshchery Imanay (Yuzhnyy Ural) [Mineralogical and geochemical features of cave fossilization of fossil bones on the example of the Imanay cave (Southern Urals)]. Bulletin of the Perm University. Geology. 19(4):323–358. doi: 10.17072/psu.geol.19.4.323 (in Russian)

Silaev V.I., Parshukova M.N., Slepchenko S.M., Smoleva I.V., Kiseleva D.V., Shanina S.N., Tropnikov E.M., Khazov A.F. 2017<sub>1</sub>. Ust-Poluyskoye gorodishche-svyatilishche: opyt mineralogo-geokhimicheskikh issledovaniy chelovecheskikh kostnykh ostankov [Ust-Poluy settlement-sanctuary: experience of mineralogical and geochemical studies of human bone remains]. Syktyvkar. IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, p. 64. (in Russian)

Silaev V.I., Ponomarev D.V., Simakova Yu.S., Shanina S.N., Smoleva S.V., Tropnikov E.M., Khazov A.F. 2016. Sovremennyye issledovaniya iskopayemogo kostnogo detrita: paleontologiya, mineralogiya, geokhimiya [Modern studies of fossil bone detritus: paleontology, mineralogy, geochemistry]. Bulletin of the Institute of Geology. Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 5:19–31. (in Russian)

Silaev V.I., Slepchenko S.M., Bondarev A.A., Smoleva I.V., Kiseleva D.V., Shanina S.N., Martirosyan O.V., Tropnikov E.M., Khazov A.F. 2017<sub>2</sub>. Ust-ishimskaya kost: mineralogo-geokhimicheskiye svoystva kak istochnik paleontologicheskoy, paleoantropologicheskoy i paleoekologicheskoy informatsii [Ust-Ishim bone: mineralogical and geochemical properties as a source of paleontological, paleoanthropological and paleoecological information]. Bulletin of the Perm University. Geology. 16(1):1–25. doi: 10.17072/psu.geol.16.1.1 (in Russian)

Silaev V.I., Shanina S.N., Smoleva I.V., Khazov A.F., Tumanova E.A., Pavlov P.Yu. 2019<sub>2</sub>. Opyt ispolzovaniya mineralogo-geokhimicheskikh svoystv kostnykh ostankov na paleontologicheskoy stoyanke Zaozerye (Sredniy Ural) [Experience in using the mineralogical and geochemical properties of bone remains at the Zaozerye paleontological site (Middle Urals)]. PAZHMI. 2:35–77. (in Russian)

Silaev V.I., Khazov A.F. 2003. Izotopnoye disproportsiyirovaniye karbonatnogo ugleroda v protsessakh gipergenno-ekzogennoy peregruppirovki veshchestva zemnoy kory [Isotopic disproportionation of carbonate carbon in the processes of hypergene-exogenous rearrangement of the earths

crust]. Program of Fundamental Research of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar. Geoprint, p. 41. (in Russian)

Smirnov V.I., Votyakov S.A., Sadykova N.O., Kiseleva D.V., Shchapova Yu.V. 2009. Fiziko-khimicheskiye kharakteristiki kostnykh ostatkov mlekopitayushchikh i problema otsenki ikh otnositel'nogo vozrasta. Chast I. Termicheskii i mass-spektrometricheskii elementnyy analiz [Physical and chemical characteristics of mammalian bone remains and the problem of assessing their relative age. Part I. Thermal and mass spectrometric elemental analysis]. Ekaterinburg. Goshchitsky, p. 118. (in Russian)

Ulyakhovich N.A. 1997. Kompleksy metallov v zhivyykh organizmakh [Metal complexes in living organisms]. Soros Educational Journal. 8:27–32. (in Russian)

Formozov A.A. 1983. Pervyy opyt kompleksnogo issledovaniya pamyatnikov pervobytnoy kultury v Rossii [The first experience of a comprehensive study of monuments of primitive culture in Russia]. Priroda. 1:82–89. (in Russian)

Yushkin N.P. 2005<sub>1</sub>. Arkheomineralogiya: stanovleniye i perspektivy [Archeomineralogy: formation and prospects]. In: Archeology and the early history of mineralogy. Proceedings of the International Seminar, Syktyvkar, Geoprint, pp. 5–6. (in Russian)

Yushkin N.P. 2005<sub>2</sub>. Perspektivy arkheomineralologii [Prospects of archeomineralogy]. Bulletin of the IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 6:20–21. (in Russian)

Bocherens H. 2003. Isotopic Biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe Fauna. In: Advances in Mammoth Research. Densetia. pp. 57–76.

Lee-Thorp J.A., Sponheimer M. 2003. The case Studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies. J. Antropol. Archaeol. 22:208–216.

Mitchell R.D. 1986. Archaeomineralogy: an annotated bibliography on North and Central America (1840–1981). Anthropology Teaching Museum research paper. 1:1–4.

Silaev V.I., Ponomarev D.V., Kiseleva D.V., Smoleva I.V., Simakova Yu.S., Martirosyan O.V., Vasiliev E.A., Khazov A.F., Tropnikov E.M. 2017. Mineralogical-Geochemical Characteristics of the Bone Detritus of Pleistocene Mammals as a Source of Paleontological Information. Paleontological Journal. 51(13):1395–1421.