

Епимахов А.В., Таиров А.Д. Между бронзовым веком и железным (могильник Шатмантамак I в Башкортостане) // Поволжская археология. 2020. № 3. В печати.

Казбуруновский археологический микрорайон позднего бронзового века Южного Приуралья: результаты естественно-научных исследований / Щербаков Н.Б., Шутелева И.А., Гольева А.А. и др. Уфа: Инеш, 2017. 164 с.

Киселева Д.В., Червяковская М.В., Шишлина Н.И. Изотопный анализ стронция в современном сырье и ископаемом текстиле // Геоархеология и археологическая минералогия. Миасс: ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 2019. С. 25–28.

Кузьмин Я.В. Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. 396 с.

Моргунова Н. Л., Евгеньев А. А., Крюкова Е. А. и др. Курганный могильник Красиковский I бронзового века в Оренбургской области // Археологические памятники Оренбуржья. Вып. 14. Оренбург, 2019. С. 4–39.

Моргунова Н. Л., Кулькова М. А. Результаты радиоуглеродного датирования курганного могильника Красиковский I // Археологические памятники Оренбуржья. Вып. 14. Оренбург, 2019. С. 39–45.

Халяпин М. В. Новые абашевские материалы из Оренбуржья // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала. Орск, 2000. С. 102–119.

Hanks B. K., Ventresca Miller A., Judd M. et al. Bronze Age Diet and Economy: New Stable Isotope Data from the Central Eurasian Steppes (2100-1700 BC) // Journal of Archaeological Science. 2018. Vol. 97. P. 14–25.

Rasmussen S., Allentoft M.E., Nielsen R. et al. Early Divergent Strains of *Yersinia pestis* in Eurasia 5,000 Years Ago. Cell. Vol. 163 (3). Supplementary.

Ventresca Miller A., Usmanova E., Logvin V. et al. Subsistence and social change in central Eurasia: stable isotope analysis of populations spanning the Bronze Age transition // Journal of Archaeological Science. 2014. Vol. 42. Pp. 525–538.

**И.А. Вишневецкая^{1,2}, А.М. Хаценович¹, Т.Г. Окунева³, К.К. Уразова³,
А.М. Клементьев¹, Е.П. Рыбин¹, Д.В. Марченко¹**

¹– Институт археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск, vishnevskaiia.i.a@gmail.com

²– Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва

³– Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Первые результаты изучения распределения РЗЭ и отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ на палеолитических памятниках Монголии

Этапы заселения определенных регионов в палеолите зависят от нескольких факторов: миграций человеческих сообществ и их взаимодействия с автохтонным населением; климатических обстановок и благоприятности окружающей палеосреды; маршрутов перемещения стадных копытных – объектов охоты древнего человека; доступности качественного каменного сырья, пригодного для расщепления. Этими факторами обусловлен характер заселения региона – непрерывный или отдельные поселенческие эпизоды. В первом случае каменные индустрии дают возможность проследить постепенную эволюцию технологии, либо быстрое замещение местного населения пришлым. Во втором случае фиксируются отдельные посещения региона человеческими коллективами с различным или одним и тем же культурным набором. Понимание характера заселения региона и культурной адаптации человека к локальным условиям обитания невозможно без реконструкции климатических обстановок.

На территории Монголии фиксируются палеолитические памятники, отражающие отдельные эпизоды заселения. В Северной Монголии культуросодержащие слои залегают без стерильных прослоев в стратиграфических колонках памятников Харганын-Гол-5, Толбор-4, Толбор-15, Толбор-21, однако радиоуглеродные и ОСЛ даты указывают на значительные перерывы в археологической летописи региона. На этих памятниках представлена культурная последовательность от терминального среднего до финального верхнего палеолита. Иная ситуация была выявлена для памятников в долине р. Орхон в Центральной Монголии. На объектах Орхон-1 и Орхон-7 представлена культурная последовательность среднего – верхнего палеолита, в которой культуросодержащие слои разделены стерильными слоями значительной мощности. Исключение составляет памятник Мойлтын ам, материалы которого претерпели значительные постдепозиционные изменения. В рамках нового этапа исследований этих памятников были проведены анализ изотопов Sr и редкоземельных элементов, гранулометрический, споро-пыльцевой, фаунистический и ОСЛ-датирование для реконструкции палеоклиматической летописи долины Орхона. В данной работе представлена методика и первые результаты РЗЭ и изотопного анализов.

Памятник Мойлтын ам расположен в Центральной Монголии, на второй надпойменной террасе р. Орхон, в месте впадения в нее пересохшей реки Тола. В стратиграфическом разрезе раскопа 2018–2019 гг. (8 м²) было выделено 6 литологических слоев общей мощностью около 1.7 м. Каждый литологический слой вмещал культурные остатки. Материалы памятника Мойлтын ам переотложены в большей (горизонт 2) или меньшей (горизонты 4–6) степени. Индустрия горизонтов 4–6 рассматривается в качестве начального верхнего палеолита на базе галечного сырья, что подтверждается специфической техникой скола, со значительным леваллуазским компонентом. Наиболее представленными в фаунистическом комплексе являются сурки-гарбаганы (слои 5 и 6), характерные для позднего плейстоцена. Крупные млекопитающие представлены фрагментами плечевой кости быка *Bos sp.* (слой 2) и лопаточной кости *Equus sp.* (слой 5).

Памятник Орхон-1 также расположен на второй надпойменной террасе одноименной реки на высоте 1482 м над у.м. Стратиграфия включает 7 литологических слоев, осадконакопление которых началось, по предварительной оценке, в первой половине МИС-3. Артефакты находятся во взвешенном состоянии. Крупные находки образуют читаемый в профиле горизонт залегания в верхней части слоя 4, относящийся к раннему или среднему верхнему палеолиту. Также в слое 7 прослеживается самостоятельный горизонт залегания крупных находок. Комплекс интерпретируется как финальный среднепалеолитический. В нем также обнаружена нижняя челюсть байкальского яка *Bos (Porphagus) Baikalensis*.

Памятник Орхон-7 имеет то же геоморфологическое положение, что и Орхон-1, и расположен в 6 км к югу от него. Стратиграфия памятника Орхон-7 представляет собой на сегодняшний день самый полный из известных палеоархивов в Монголии, связанных с обитанием древнего человека. Начало его осадконакопления совпадает, по предварительным данным, с началом стадии МИС-3. В стратиграфии памятника при зачистке 2019 г. выделено 12 литологических слоев, культуросодержащие горизонты выявлены в слоях 8, 9 и 10. В слое 8 и 9 обнаружены кости ископаемой лошади, а также быка – в слое 8. В слое 10 найдены кости шерстистого носорога и горного барана.

Памятники долины Орхона указывают на кратковременные периодические посещения стоянок. Состав каменных ассамбляжей указывает на то, что здесь были мастерские по расщеплению галек из местного аллювия. В то же время, полученные датировки указывают на значительные перерывы в таких посещениях, которые могли явиться следствием палеоклиматических флуктуаций. Также открытым остается вопрос о месте охоты обитавших популяций: значительное число фаунистических «кухонных остатков» охоты и трапезы ставит задачу определения поведенческих особенностей обитавших здесь человеческих групп.

Совместное использование различных изотопных систем (C, O, N, Sr) позволяет установить палеодиету животных и человека, а также реконструировать их миграцию [Scharlotta, Weber, 2014; и др.]. Для этого необходимо изучить имеющийся археологический материал, выбрать из него те остатки, которые подверглись минимальным изменениям. В ходе полевых и камеральных работ были отобраны визуально неизменные образцы зубов. Кроме того, были отобраны пробы грунта в непосредственной близости от этих костей. Эти пробы грунта являются изотопно-геохимическим фоном для исследуемых костных остатков, с которыми проводилось сравнение на локальном уровне.

Изотопные исследования проводились на базе чистых помещений ЦКП «Геоаналитик» (ИГТ УрО РАН, Екатеринбург). Исследование химического и изотопного состава Sr зубов проводилось по методике, описанной в работе [Киселева и др., 2017]. Пробы грунта (30–50 мг) без предварительной подготовки помещали в фторопластовые бюксы, добавляли в смесь концентрированных кислот HF и HNO₃ в соотношении 3:1. После разложения растворов выпаривали досуха, к сухому остатку добавляли смесь кислот HCl и HNO₃ в соотношении 3:1, далее после выпаривания при $t = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$ сухой остаток обрабатывался 10N HCl и выпаривался досуха при $t = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для анализа редких, рассеянных и редкоземельных элементов порцию по 5 мл каждого образца количественно переносили в полипропиленовые контейнеры, затем добавляли 100 мкл раствора In (внутреннего стандарта) (1 мг/л) и 150 мкл 14N HNO₃ и разбавляли до объема 10 мл ультрачистой водой, чтобы получить конечную концентрацию HNO₃ на уровне 3 %. Калибровочные кривые были построены с использованием многоэлементных стандартных растворов (Inorganic Ventures). Для количественного определения изотопов использован квадрупольный масс-спектрометр NexION 300S (Perkin Elmer, США). Контроль правильности и точности определения состава микроэлементов осуществлялся с использованием сертифицированных многоэлементных решений (Inorganic Ventures). Полученные концентрации микроэлементов находятся в согласии с сертифицированными значениями с допустимым отклонением в пределах 15 %.

Изотопный состав Sr изучен в 8 образцах осадков из слоев памятника Мойлтын ам, зуб *Equus sp.*, из сл. 8 Орхон-7, зуб *Bos baikalensis* из сл. 7 Орхон-1. Выделение Sr происходило методом ионообменной хроматографии на катионите Triskem Sr-Spec 100–200 мешж Sr выделялся методом ступенчатого элюирования в 7N и 0.05N HNO₃. Элюат выпаривали до влажных солей и растворяли в 5 мл 0.5 % HNO₃. Определение изотопных отношений проводилось на ИСП-МС NeptunePlus. Коррекция масс проводилась при помощи нормализации на отношение $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.37861$ и метода брекетинга через два образца относительно стандарта NIST SRM-987 с отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} 0.710245$ (GeoReM database, <http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>). Интерференция изотопов ^{86}Kr и ^{87}Rb учитывалась при помощи нормализации на $^{83}\text{Kr}/^{86}\text{Kr} = 0.664162$, $^{83}\text{Kr}/^{84}\text{Kr} = 0.201579$ и $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb} = 0.386$.

Содержания редких, рассеянных и редкоземельных элементов в слоях 1–5 разреза Мойлтын ам весьма однородны, кроме пробы из слоя 5 (образец 1837), где содержания выше почти в два раза. Это является следствием его литологического отличия: в нём больше гравийного материала и дресвы, чем в вышележащих отложениях. Несмотря на это, на диаграмме Nd-Gd-Yb точки составов ложатся в узкое поле в центре треугольника. Геохимические индексы по разрезу практически не изменяются. Для пород характерно следующее: цериевая аномалия не проявляется ($\text{Ce}/\text{Ce}^* 0.9\text{--}1.0$), присутствует слабая положительная (относительно PAAS) европиевая аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* 1.1\text{--}1.3$), вариации отношения легких ПЗЭ (LREE) к тяжелым (HREE) или La/Yb незначительны ($0.8\text{--}1.0$ и $0.67\text{--}0.99$, соответственно).

Концентрации ПЗЭ, нормированные на хондрит, показаны на рисунке. Нормализованные по хондриту спектры ПЗЭ имеют одинаковую форму. Пробы обогащены легкими ПЗЭ,

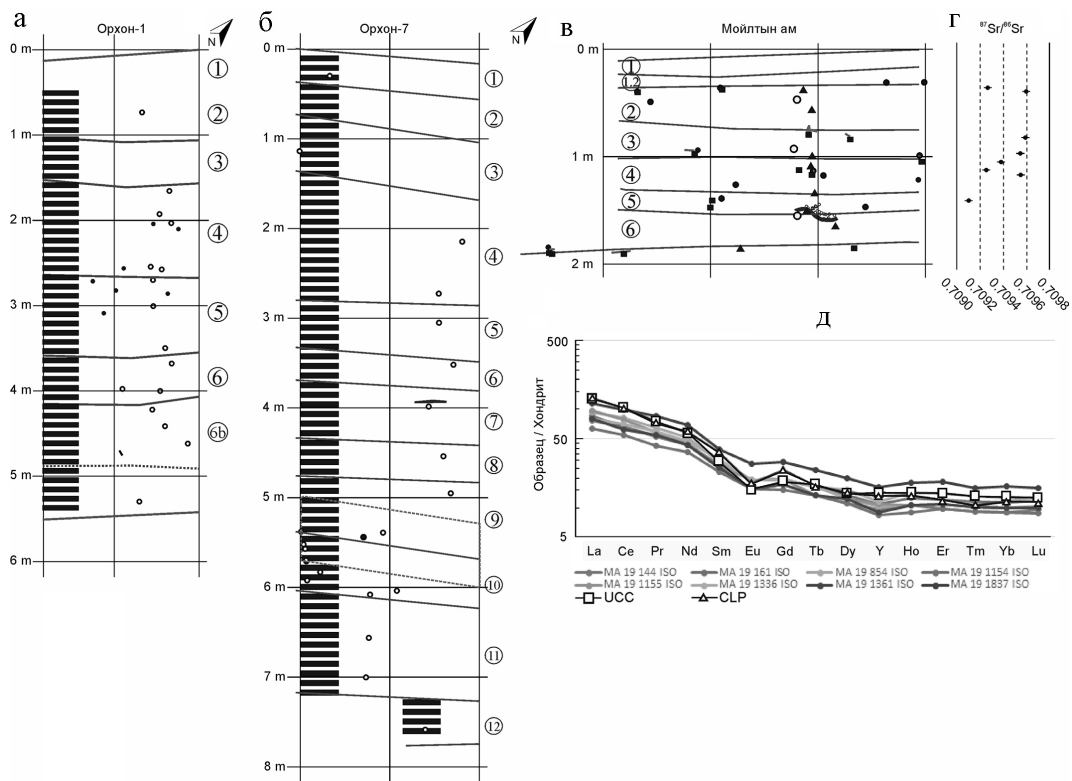


Рис. Схематические колонки разрезов Орхон-1 (а), Орхон-7 (б) и Мойлтын ам (в), вариации изотопного состава Sr по разрезу Мойлтын ам (г) спектр распределения РЗЭ для этих же пород (д). Сокращения см. в тексте.

обеднены тяжелыми РЗЭ, без аномалии по Ce ($\text{Ce}/\text{Ce}^* \sim 1$), для них характерна небольшая отрицательная аномалия Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* \sim 0.78$). Отметим, что спектр пробы 1837 (слой 5) сходен с остальными, однако концентрации всех элементов почти в два раза выше. Также на рисунке представлен состав РЗЭ средней континентальной коры [UCC, Taylor et al., 1983]. Изученные породы полностью, за исключением величины европиевой аномалии, повторяют этот спектр. Для сравнения мы также взяли средний состав лёссов центрального Китая (the central Loess Plateau in China [Yokoo et al., 2004], CLP на графике). На графике с нормализацией на хондрит различия в распределениях не видно. На диаграмме с нормализацией на PAAS – постаршей австралийский глинистый сланец, который является стандартом осадочных пород фанерозоя – заметны различия между породами разреза Мойлтын ам и средним составом лёссов: у первых положительная европиевая аномалия, у вторых – отрицательная. Это может говорить о разном количестве плагиоклаза в породах и степени его переработки. Несмотря на то, что спектры распределения близки, вероятно, источники этих пород были различными.

На основе тех данных, что у нас есть, можно частично реконструировать климат во время накопления изученных осадочных пород, а именно установить количество выпадавших осадков. Установлено [Ронов и др., 1967], что отношение ненормированных LREE ($\text{La} + \text{Ce} + \text{Pr} + \text{Nd} + \text{Sm} + \text{Eu}$) к HREE + Y ($\text{Gd} + \text{Tb} + \text{Dy} + \text{Ho} + \text{Er} + \text{Tm} + \text{Yb} + \text{Lu} + \text{Y}$) может служить индикатором климата: менее 2.5 – аридный, 2.5–4 – семиаридный-семигумидный, выше 4 – гумидный. Отношение LREE/HREE пород разреза Мойлтын ам варьирует в интервале от 2.9 до 3.8 (среднее 3.5), что характерно для пород, сформировавшихся в семиаридном-семигумидном климате [Ронов и др., 1967]. Это же подтверждает отношение Th/U [Siko

et al., 1966], которое варьирует от 2.6 до 3.8 (среднее 3.1), и лежит в области между типично аридными обстановками и типично гумидными.

Изотопный состав Sr изученных пород варьирует в интервале от 0.7091 до 0.7096 (см. рис.). Для проб из самого верхнего изученного слоя – слоя 2 – характерны значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, отличающиеся друг от друга. Вероятно, на это повлияло различное содержание (диагенетического) карбонатного вещества в этих двух пробах. В остальном же снизу вверх по разрезу наблюдается плавное уменьшение значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Отложения в районе разреза Мойлтым ам не обладают какими-либо аномальными содержаниями элементов-примесей и сопоставимы по своим геохимическим особенностям с глинистыми породами PAAS, отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ этих пород типично для верхней континентальной коры, что указывает на то, что они испытали хорошее перемешивание [Jahn et al., 2001]. Спектры распределения редкоземельных элементов и иттрия (REE+Y) можно считать постоянными для изученного разреза; изменение изотопного состава Sr постепенное, без «перескоков», что говорит о том, что значительных перестроек в климате за время накопления этих отложений, не происходило, а сам климат был семиаридный-семигумидный.

Распределение PЗЭ+Y в эмали и дентине зубов представителя семейства лошадиных Equidae gen из разреза Орхон-7 (сл. 8) и байкальского яка из Орхон-1 (сл. 7) нормированное на хондрит (см. рис.) показывает почти горизонтальный спектр с небольшим обогащением легкими лантаноидами с существенной положительной европиевой аномалией. Разница в составе PЗЭ+Y в эмали и дентине зуба из разреза Орхон-1 наблюдается в области тяжелых PЗЭ. Одной из возможных причин могут быть ультранизкие концентрации тяжелых PЗЭ, близких пределу обнаружения. Эмаль и дентин зуба из разреза Орхон-7 сходны по составу редких земель, концентрации их близки. Особенностью этого зуба является то, что содержания всех PЗЭ в дентине выше, чем в эмали. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ эмали и дентина зуба из разреза Орхон-1 одинаковое и составляет 0.71013 ± 1 , что с большой долей вероятности указывает на постдиагенетическое уравнивание изотопного состава. Изотопный состав Sr эмали зуба из разреза Орхон-7 близок к зубу из Орхон-1 и составляет 0.71055. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в дентине этого зуба выше и равно 0.71207. Более высокое отношение, вероятно, указывает на то, что представители Equidae gen. в первые годы своей жизни паслись в другом регионе, не там, где были найдены.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№ 19-78-10112).

Литература

Киселева Д.В., Корякова Л.Н., Шарапова С.В., Косинцев П.А., Зайцева М.В., Стрелецкая М.В., Чередниченко Н.В., Фокина А.К., Шагалов Е.С. Определение микроэлементного и изотопного состава Sr в образцах костной и зубной ткани человека и животных из археологических памятников Южного Урала эпохи бронзы // Геоархеология и археологическая минералогия. 2017. С. 41–46.

Ронов А.Б., Балашов Ю.А., Мигдисов А.А. Геохимия редкоземельных элементов в осадочном цикле // Геохимия. 1967. № 1. С. 3–19.

Frei K.M., Frei R, Mannering U., Gleba M., Nosch M.L., Lyngstrøm H. Provenance of ancient textiles – a pilot study evaluating the strontium isotope system in wool // Archaeometry. 2009. 51. P. 252–276.

Jahn B.M., Gallet S., Han J. Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China eolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka // Chemical Geology. 2001. 178 (1–4). P. 71–94.

Scharlotta I., Weber A. Mobility of middle Holocene foragers in the Cis-Baikal region, Siberia: Individual life history approach, strontium ratios, rare earth and trace elements // Quaternary International. 2014. V. 348. P. 37–65.

Siko ek B., Goikovi S. An experimental determination of geochemical facies of sedimentary rocks in the Dinarides based on Th/U ratio // Freib. Forsch. C, 1966. Vol. 210. P. 197–211.

Taylor S.R., McLennan S.M., McCulloch M.T. Geochemistry of loess, continental crustal composition and crust model ages. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1983. Vol. 47. P. 1897–1905.

Yokoo Y., Nakano T., Nishikawa M., Quan H. Mineralogical variation of Sr–Nd isotopic and elemental compositions in loess and desert sand from the central Loess Plateau in China as a provenance tracer of wet and dry deposition in the northwestern Pacific // *Chemical Geology*. 2004. Vol. 204. P. 45–62.

Д.В. Киселева¹, Е.С. Шагалов², А.Д. Рянская², Е.А. Панкрушина²

¹ – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, kiseleva@igg.uran.ru*

² – *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия*

К методологии отбора проб для оценки локального биодоступного стронция: результаты полевой экспедиции в Оренбургскую область

Для оценки мобильности древних популяций и идентификации неместных индивидов требуется проводить сравнение полученных в них изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ с так называемой локальной меткой биодоступного стронция, характерной для каждого конкретного местонахождения. Следовательно, кроме получения собственно изотопных отношений в археологических скелетных тканях, крайне актуальным является наличие базы данных по фоновым изотопным отношениям стронция, характерным для изучаемого местонахождения или потенциального района происхождения индивида или артефакта, без которых интерпретация изотопных данных, полученных по археологическим объектам, невозможна.

Зачастую использование формального подхода, когда в качестве геохимического фона используются опубликованные данные по горным породам, может быть неоправданным, поскольку для некоторых регионов (например, Урал с его блоковой структурой) геологическое строение, а, следовательно, и геохимические особенности могут радикально изменяться на расстоянии нескольких десятков километров. При этом для получения корректных выводов о происхождении объектов (место рождения человека или животного; регион сырьевой базы, ареал расположения производственных мастерских и т.д.) сравнение следует проводить с образцами, содержащими биодоступный стронций, то есть прошедший цикл не только гидрохимических преобразований и выветривания, но и биопурификацию в живых организмах (растениях, животных). Для этих целей используется целый ряд материалов – зубная эмаль ископаемых и современных животных, речная вода, почвенные вытяжки, растительность, древесина, раковины улиток и пресноводных двустворок [Price et al., 2002; Copeland et al., 2016; Snoeck et al., 2020; Maurer et al., 2012; Scharlotta, Weber, 2014; Hajj et al., 2017]. Все эти материалы имеют как свои преимущества, так и недостатки. Вышеописанные материалы окружающей среды (проху, прокси) применяемые для оценки локальных базовых линий биодоступного стронция (bioavailable strontium isotope baseline) могут использоваться как по отдельности, так и в комбинации друг с другом (multi-proxy) [Ladegaard-Pedersen et al., 2020; Grimstead et al., 2017].

Следует отметить, что стратегия пробоотбора и количество отобранных проб могут отличаться в зависимости от региональной геологии и археологического материала, происхождение которого планируется выявлять (скелетные ткани, древесина, текстиль и др.) [Grimstead et al., 2017]. Так, для относительно однородной геологической системы возможно проводить пробоотбор в меньшем количестве мест (достаточно 1 пробы на 500 км²), но при большой неоднородности следует опробовать существенно большее число точек [Grimstead et al., 2017].