DOI 10.24412/2658-5960-2022-35-180-196
УДК 902(653)

Ирина Евгеньевна Пантюхина[1]
pantukhina2000@mail.ru

Анжелика Сергеевна Дёмина[1]
enot.enot.1999@mail.ru

ОПЫТ ОЦЕНКИ ЧИСТОТЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА АНАЛИЗА ДРЕВНЕГО КРАХМАЛА[2]

Любой метод должен учитывать факторы, которые могут исказить результат исследования и повлиять на обоснованность выводов. Археология микроостатков включает в себя целый комплекс естественнонаучных лабораторных методов, которые требуют определённой степени чистоты помещения, оборудования, образца и т.п. На уровне микромира зачастую невозможно разделить современные и древние объекты ни оптическими, ни физико-химическими способами. Поэтому проблема загрязнения/заражения артефактов современными микроостатками актуальна. Авторы применяют археоботанический метод анализа древнего крахмала для реконструкции диеты и систем жизнеобеспечения древнего человека. Одной из значимых для этого метода является проблема загрязнения артефактов современным крахмалом в процессе лабораторных исследований. Промышленность широко применяет данное вещество в различных сферах. Это создаёт риск загрязнения исследуемых образцов, ошибочных определений и выводов. Для лабораторий, работающих с микроостатками крахмала, исключение современного крахмала является важнейшей задачей. В данной статье описан опыт обнаружения, предотвращения/контролирования современного загрязнения доступными методами в пределах обычного рабочего кабинета археологов. При поиске решений авторы учитывали свойства крахмала, которые способствуют его распространению в пространстве и сохранению. Были установлены источники крахмала и зоны его локализации. В ходе исследования оценена эффективность мер по предотвращению и контролю современного/перекрёстного загрязнения крахмалом. Предложенные решения существенно снижают ресурсозатраты метода.

Ключевые слова: метод анализа древнего крахмала, загрязнение крахмалом, археология микроостатков.

[1] Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия.

[2] Авторы благодарят Юрия Евгеньевича Вострецова и Наталью Алексеевну Дорофееву за ценные замечания и мнения.

Irina E. Pantyukhina[3]
pantukhina2000@mail.ru
Anzhelika S. Demina[3]
enot.enot.1999@mail.ru

EXPERIENCE IN CONTAMINATION LEVEL ASSESSMENT IN THE ARCHAEOLOGICAL OFFICE STUDYING ANCIENT STARCH

Any method should take into account factors that can distort the research result and affect the validity of the conclusions. The residue archeology includes a range of natural science methods that require certain level of purity. Often it is impossible to separate modern and ancient objects either by optical or physicochemical methods at the microcosm level. Therefore, the problem of contamination of artifacts with modern micro-residues is urgent. The authors apply the archaeobotanical method of ancient starch analysis to reconstruct the diet and subsystems of ancient humans. One of the significant for this method is the problem of contamination of artifacts with modern starches in the process of laboratory works. The industry widely uses this substance in various fields. This creates the risk of contamination of the samples, erroneous definitions and conclusions. For laboratories working with ancient starch, the elimination of modern starches is a major objective. This article describes the experience of identifying, preventing/controlling modern contamination using available methods within the usual office of archaeologists. When looking for solutions, we took into account the properties of starch, which contribute to its movement in space and preservation. Sources of starch and distribution zones have been identified. The study evaluated the effectiveness of acts to prevent and control modern and cross contamination with starch. The proposed solutions significantly reduce the resource consumption of the method.
Keywords: ancient starch research, starch contamination, micro-residue archaeology.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ крахмала больше 30 лет является важной методикой для реконструкции собирательства растений, земледелия, медицинских практик и функций орудий в мировой археологии. Значение крахмала как источника определяется его способностью сохраняться в различных природных и антропогенных условиях длительное время без существенных изменений (Haslam 2004; Пантюхина 2020). Метод анализа крахмала (МАК) имеет неоспоримые преимущества, однако при этом не лишён и некоторых ограничений. Находясь в ряду археоботанических методов, он позволяет подтверждать и дополнять результаты карпологических исследований и изучать комплексы, где не применялась водная флотация отложений и которые,

[3] Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

казалось бы, утеряны для археоботанических реконструкций (Пантюхина и др. 2018; Скакун и др. 2021). Естественным ограничением метода является то, что отдельные группы растений (например, семейства Сложноцветные (Asteraceae) и Колокольчиковые (Campanulaceae)) используют в качестве запасного/запасаемого полисахарида инулин, а не крахмал.

При применении МАК исследователи должны учитывать три потенциальных источника загрязнения артефактов крахмалом: 1) попадание современного крахмала на этапе лабораторной обработки; 2) перекрёстное заражение между артефактами и 3) загрязнение из почвенных отложений, в которых разлагаются многочисленные растения, содержащие крахмал. Вероятность переноса микроостатка на артефакты оценивается через сравнение частоты встречаемости гранул крахмала на единицу массы образца. Более подробно вопрос взаимосвязи функций артефактов и сохранности крахмала затронут в другой работе одного из авторов этой статьи (Пантюхина 2020: 110—112).

В современном мире крахмал применяется в различных областях лёгкой промышленности и фармакологии как стабилизатор, загуститель, структурообразователь и наполнитель (Технология 1981: 7; Мурашкина, Гордеева 2018: 10—11, 17). Таким образом, источниками загрязнения им могут являться продукты питания, растения, промышленные товары. Исследования показали, что крахмал обладает летучестью и липкостью (Dozier 2016), что способствует его переносу по воздуху, на предметах, одежде, волосах и коже и закреплению на поверхностях в помещениях. Отличить древний крахмал от современного с высокой степенью вероятности не представляется возможным ни визуально, ни химически. Поэтому надёжность исследований древнего крахмала обеспечивается одним способом — предотвращением заражения образцов современным крахмалом.

Разные исследователи предлагают разнообразные способы удаления крахмала с оборудования, предотвращения его проникновения в лабораторию и перекрёстного загрязнения между артефактами. Контроль за крахмалом, перемещаемым по воздуху, осуществляется с помощью предметных стёкол — ловушек, расставленных в помещении. Вода для исследований должна быть очищена фильтрами до 0,22 мм и дистиллирована. Присутствие пищи в помещении необходимо исключить. Обязательно мытьё рук и ношение неопудренных перчаток во время лабораторных процедур. Рекомендовано также использовать отдельное место для работы с современными эталонами. Для очистки многоразового оборудования предлагают применять отбеливатель, уксус, ультразвук, открытое пламя, пар, кипящую воду (см. обзор: Crowther et al. 2014: 90). Не все из этих способов соответствуют нормам безопасности и доступны по техническим и финансовым причинам, кроме того, как правило, они кратко упоминаются в исследованиях без описания деталей, которые могли бы помочь оценить их эффективность.

Лучшим на данный момент вариантом представляется оформление специализированного помещения — лаборатории — с созданием барьеров

для проникновения современного крахмала и соблюдение протоколов чистоты. Однако образцы, собранные с поверхностей и расходных материалов в «крахмальных» лабораториях Канады и Великобритании, показали, что даже такие меры не дают 100% гарантии (Crowther et al. 2014). Тем не менее мы считаем, что независимо от уровня финансирования таких подразделений обеспечить надёжность результатов МАК вполне возможно доступными средствами.

Цель нашего исследования заключалась в оценке уровня загрязнения крахмалом конкретного помещения, где работает несколько человек, и возможности его попадания на артефакты. Для этого необходимо было установить вероятные пути проникновения крахмала в лабораторию и провести его видовое определение. По результатам мы предлагаем способы предотвращения попадания крахмала на артефакты. За образец была взята процедура проверки специализированных лабораторий (Crowther et al. 2014), модифицированная с учётом местных условий.

В рабочем кабинете группы изучения палеоэкологии человека, являющейся частью Отдела первобытной археологии ИИАЭ ДВО РАН, ведётся создание коллекции современных эталонов крахмала (извлечение крахмалов из современных растений), подготовка для исследования образцов древнего крахмала, выполнение сотрудниками своих рабочих обязанностей, работа с артефактами. Количество рабочих поверхностей в кабинете ограничено, поэтому они используются для различных видов процедур.

С момента освоения МАК в кабинете были установлены правила для предотвращения современного и перекрёстного загрязнения артефактов крахмалом:

- работа с эталонами проводится при отсутствии открытых артефактов;
- предметы при длительной работе выкладывают на специальные планшеты с бортами. Это позволяет проводить их быстрое вертикальное складирование без возможности попадания крахмала на артефакты по воздуху. Достаточно накрыть верхний планшет;
- приём пищи рядом с открытыми артефактами запрещён;
- при изучении артефактов под микроскопом предметный столик накрывается чистым пакетом или фольгой;
- при работе с артефактами руки тщательно моют и используют неопудренные одноразовые перчатки;
- все артефакты после работы должны быть сразу накрыты или убраны в пакеты;
- рабочие поверхности перед работой с эталонами/артефактами и после неё подвергаются влажной очистке.

В кабинете могли работать до 4 чел. одновременно. Помимо индивидуальных и общих рабочих зон там имеется обеденный стол. Также 2 сотрудника периодически принимали пищу за своими рабочими столами. Кабинет посещают коллеги из других подразделений. Таким образом, гарантировать чистоту поверхностей в помещении, где регулярно принимают пищу и изготавливают эталоны крахмала, невозможно. Сбор проб

для оценки загрязнения перед работой с каждым артефактом значительно увеличивает ресурсозатраты. Метод ловушек (Loy, Barton 2006) не получил обоснованной методической разработки. В частности, остаётся неясным, как дифференцировать крахмал в случае его присутствия в ловушке: как современный или попавший из образцов? Как оценивать достоверность результатов, если ловушки всё-таки поймают крахмал? Исключать ли данные полностью или только имеющие совпадения? Поэтому указанный приём не стал пока необходимым требованием для лабораторий, применяющих МАК. В наших условиях единственными доступными способами предотвращения современного и перекрёстного загрязнения являются разделение исследовательских процедур по времени, регулярная влажная уборка горизонтальных поверхностей, создание барьеров, тщательная очистка и обработка многоразового оборудования (микроскопы, инструменты и лабораторная посуда) и использование одноразовых расходных материалов.

Для инструментов и посуды изначально применялась ресурсозатратная очистка: промывка и прожаривание в сушильном шкафу при температуре выше 100°C в течение 40 мин. Но эта процедура не гарантирует 100% разрушение крахмалов, так как их гранулы могут выдерживать нагрев до 320°C (Valamoti et al. 2008). Разрешить проблему помогло «контролируемое загрязнение». Этот авторский подход основан на реакции окрашивания при контакте йода с крахмалом. Изменение цвета может быть временно обратимо при нагревании, но в нашем случае образцы не нагреваются. Крахмал очень чувствителен даже к незначительным концентрациям спиртового раствора йодистого калия. Обработка многоразового инструментария этим препаратом используется вместо прожарки. Если окрашенный крахмал попадёт в образец, его можно легко заметить и исключить. За всё время применения данного приёма перекрёстное загрязнение выявлено не было. Этот способ доступен и прост, единственным неудобством является сильный запах, который ликвидируется проветриванием помещения. Кроме того, таким образом нельзя обрабатывать металлические предметы: они начинают быстро корродировать.

Разумный скепсис всегда допустим, поэтому мы проверили эффективность способов предотвращения и контроля загрязнений в нашем рабочем кабинете лабораторными методами, чтобы иметь возможность их корректировки.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Лаборатория, специализирующаяся на МАК, всегда подвержена опасности переноса крахмала с одних объектов на другие. Поэтому первоочередной шаг — выявление источников и участков распространения крахмала. Далее необходимо найти эффективный способ удалить такое загрязнение и предотвратить его (либо контролировать). В оригинальном

исследовании была построена карта зональной концентрации крахмалов (Crowther et al. 2014). Изучив его результаты, мы отказались от данной процедуры по следующим причинам. Во-первых, этот приём не дал дополнительной информации об источниках и путях распространения крахмала в лабораториях. Во-вторых, для полноты результатов требуется разбить все поверхности в кабинете на как можно большее количество зон, что значительно повышает расход времени и материалов. Впоследствии, при оценке результатов и их моделировании с учётом зональности, стало ясно, что такое картирование не привело бы к выводам, отличным от тех, что мы получили. Также выявление зональности (эпицентр и зоны концентрации) не дало бы нам новой информации для разработки мер предотвращения загрязнения и очистки. Важнее было установить источник крахмала и устранить его, а тщательная очистка необходима в любом случае — знаем мы о зональности или нет. Зональность можно было бы использовать для расчёта степени вероятности заражения образцов, но для МАК важен сам факт наличия вероятности. К тому же эпицентры могут отражать какие-то эпизоды деятельности сотрудников и не быть фиксированными. Как оценивать вероятность в такой многофакторной системе, неясно. Опубликованный опыт исследования зонального распределения крахмалов в лабораториях также не выявил каких-либо закономерностей (Crowther et al. 2014).

Крахмальные зёрна обладают такими свойствами, как липучесть и способность перемещаться по воздуху (Newsom, Show 1997; Dozier 2016). В нашем случае существует несколько потенциальных источников вещества: современные растения, из которых извлекают эталонный крахмал; пища, употребляемая в кабинете; сотрудники, приносящие крахмал на одежде, кожных покровах и волосах; уличный воздух, проникающий в помещение в результате проветривания; артефакты, микроостатки с которых могут попасть на рабочие поверхности. В уличном воздухе возможно присутствие крахмала от каких-либо производств, либо же он может содержаться в пыльце. Последним источником допустимо пренебречь, так как содержащийся в пыльце цитоплазматический крахмал имеет размер 0,5—2,5 мкм (D'Amato et al. 2007), а такие объекты методами оптической микроскопии практически не фиксируются и не диагностичны.

Исследование проходило в три этапа. На первом был составлен подробный план лаборатории (рис. 1), где обозначены все точки, с которых произвели сбор пыли для анализа на содержание крахмала. Требовалось зафиксировать существующие зоны распространения крахмала и установить его источники. На втором этапе планировалось оценить сотрудников как источник загрязнения и их перемещения как фактор распространения крахмала в помещении. С помощью влажной уборки удалили существующие остатки, чтобы исключить их возможное перемещение с пылью в ловушки, которые расставили по предыдущим точкам сбора на две недели. Такой срок понадобился из-за ограниченной частоты посещения кабинета в связи с антиковидными мерами. В этот же период кабинет

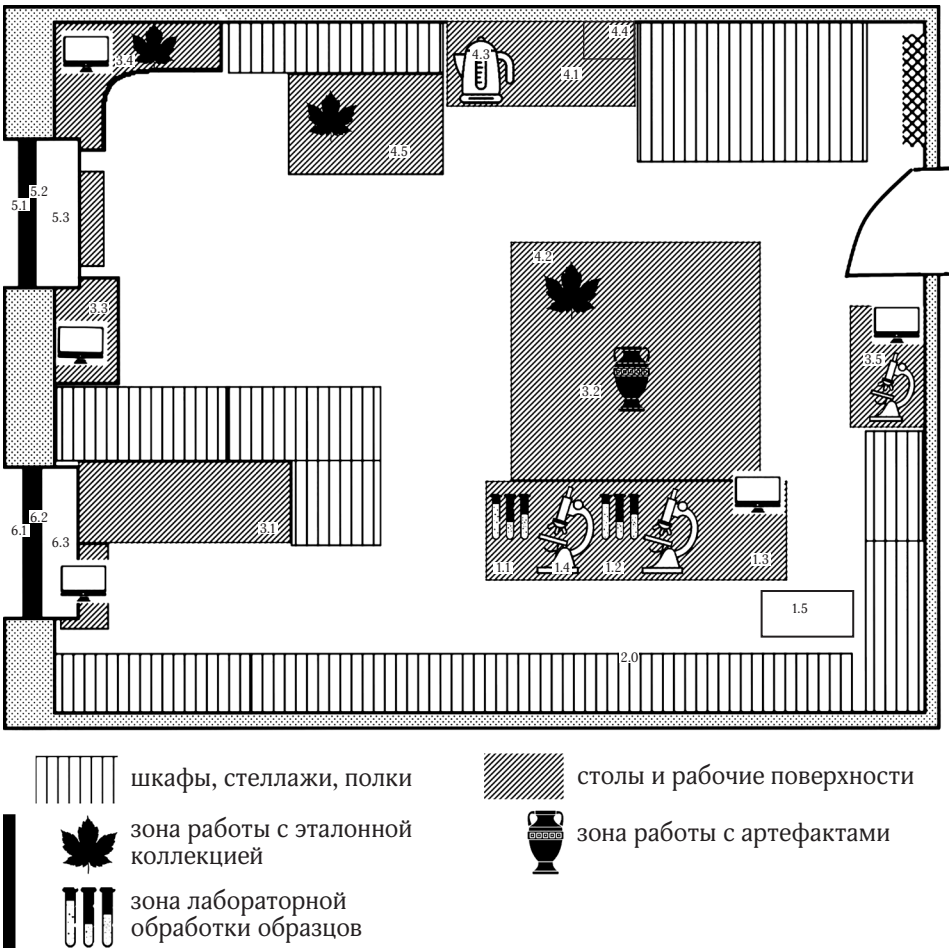

Рис. 1. План лаборатории с пронумерованными точками сбора образцов

временно стал складом полевого оборудования и археологических коллекций, пострадавших от протечки водопровода и частично заплесневевших. Там проводилась очистка и переупаковка артефактов и вещей. Соответственно, стоило ожидать высокой концентрации разнообразных микроостатков. На третьем этапе мы оценивали эффективность влажной уборки. На участках, которые изначально показали присутствие крахмала, собрали образцы с поверхности сразу после уборки. При этом площадь сбора расширили, чтобы повысить вероятность попадания крахмала в образец, если он действительно остался.

Сбор и обработка образцов

На первом этапе образцы собирали с помощью соскоба с поверхности стерильным лезвием. Материал помещали в микропробирку и маркировали. Затем к материалу добавляли 1 мл дистиллированной воды

и перемешивали с помощью прибора для встряхивания Vortex. На предметное стекло помещали 250—500 мкл получившейся суспензии и накрывали покровным стеклом. На втором этапе расставляли ловушки: каплю чистого глицерина помещали на предметное стекло. В местах, где невозможно было разместить ловушку (профили окон, внешние откосы), делали смывку с помощью безворсовой салфетки, смоченной в глицерине. На третьем этапе после дополнительной влажной уборки этим же способом собирали материал с поверхностей, на которых был обнаружен крахмал. Загрязнённый фрагмент помещался в микропробирку, заливался дистиллированной водой и встряхивался с помощью Vortex. На предметное стекло помещали 250—500 мкл образца и накрывали покровным стеклом. Ловушки с глицерином накрывали покровным стеклом без предварительной обработки. Места сбора образцов отмечены на рис. 1 и описаны в табл. 1. Площадь сбора на первом и втором этапах составляла около 1 см^2, а на третьем достигала 0,5 м^2.

Изготовленные препараты сканировали по всей площади образца на световом микроскопе проходящего света CarlZEISS AxioScope.A1 при рабочем увеличении 200—600х в режимах светлого поля и поляризации. Фотофиксацию и измерение объектов проводили с помощью цифровой камеры CarlZEISS и ПО ZEN2011. Обнаруженный крахмал учитывали количественно и качественно. Фиксировали единичные гранулы, небольшие скопления до 10 зёрен и крупные сгустки. Для установления вида крахмала проводилась идентификация по эталонной коллекции, насчитывающей 148 образцов.

В исследовании применялись расходные материалы одноразового использования, очищенные от крахмала: стерильные микропробирки, предметные и покровные стёкла, неопудренные перчатки, безворсовые салфетки, наконечники для автоматических пипеток-дозаторов, дистиллированная вода, глицерин.

Характеристика участков

Некоторые зоны сбора образцов имеют повышенный риск загрязнения крахмалом. Например, на лабораторном столе бинокуляр (рис. 1: *1.4*) используется для подготовки эталонов и осмотра артефактов перед извлечением образцов для МАК. Эти процессы разведены по времени, перед каждой процедурой проводится обработка основания, предметного столика бинокуляра и поверхности стола. При работе с артефактами подстилается фольга, чистый лист бумаги или пакет. На микроскопе справа (рис. 1: *без номера*) работают с уже подготовленными препаратами — предметными стёклами. Сушильный шкаф (рис. 1: *1.5*) используется для осушения подготавливаемых препаратов, временного хранения непокрытых покровным стеклом образцов.

На общем столе (рис. 1: *4.2*, *3.2*) проводится работа с артефактами и осуществляется их временное хранение в упаковке. Работа с гербарными образцами включает в себя их перекладывание в процессе сушки, описание и упаковку, отбор для изготовления эталонов. Соблюдается требование о запрете на одновременную обработку артефактов и растений. Торец этого стола близок к обеденной зоне (рис. 1: *4.1*), что вместе с гербарной работой создаёт риск попадания современного крахмала на поверхность и дальнейшего переноса его на артефакты. Перед каждым этапом работы с растениями или артефактами и после неё поверхность стола подвергается влажной уборке. При выкладке артефактов используются лотки, планшеты, пакеты, бумага.

Также была исследована вертикальная поверхность ящика в шкафу (рис. 1: *2.0*). Там хранятся пипетки, предметные и покровные стёкла, небольшие ёмкости с жидкостями, необходимыми для подготовки препаратов. В процессе работы с эталонами и образцами происходит регулярный контакт с ручкой и поверхностью этого ящика.

Обеденная зона рассматривается как основной источник современного пищевого крахмала. Отдельные столы сотрудников используются для прочей работы. За столом 3.5 никто не работает — на нём хранится оргтехника и бинокуляр. За столом 3.4 периодически работают с гербарными и эталонными образцами. На столах 3.1 и 3.3 никакая работа с артефактами и растениями-эталонами не велась, но за ними принимали пищу с различной периодичностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение крахмала

Количественные результаты исследования образцов после трёх этапов отражены в табл. 1. Распределение и концентрация крахмалов соотносятся с потенциальными источниками загрязнения.

В ходе первичного сбора образцов установлено, что на лабораторном столе микроостатки концентрируются слева от бинокуляра (точка сбора 1.1). Здесь временно складируются использованные для изготовления эталонов фрагменты растений, наконечники пипеток, салфетки, лезвия, чашки Петри, перчатки. Над участком стола между микроскопами (1.2) происходит перемещение материала эталонов и артефактов из-под бинокуляра в микропробирки. Заключительный этап изготовления препаратов для наблюдения под микроскопом — нанесение жидких образцов на предметное стекло — проходит справа от микроскопов, в рабочей зоне перед монитором (1.3). На этом этапе препараты уже не могут быть источником дискретных гранул. Присутствие крахмала на поверхности сушильного шкафа (1.5) мы связываем с гербарными заготовками, которые хранятся в коробках рядом и извлекаются по мере необходимости. Чистота

Таблица 1

Список образцов и количество обнаруженного крахмала по итогам трёх этапов

п/п	Участок	Номер образца	Описание	Крахмал, 1 этап / 2 этап / 3 этап		
				Одиночные гранулы (шт)	Небольшие сгустки (шт)	Крупные сгустки (шт)
1	Лабораторный стол	1.1	поверхность стола слева от бинокуляра	3/4/0	1/0/0	0/0/0
		1.2	поверхность стола между бинокуляром и микроскопом	1/1/1	1/0/0	0/0/0
		1.3	рабочая зона перед монитором	0/0/0	0/0/0	0/0/0
		1.4	основание бинокуляра	0/0/0	0/0/0	0/0/0
		1.5	поверхность сушильного шкафа	4/0/0	0/0/0	0/0/0
2	Деревянный стеллаж с ящиками	2.0	вертикальная поверхность ящика с оборудованием	0/-/0	0/-/0	0/-/0
3	Другие рабочие столы	3.1	рабочий стол сотрудника	7/0/0	9/0/0	3/0/0
		3.2	общий стол, зона работы с артефактами	0/0/0	0/0/0	0/0/0
		3.3	рабочий стол сотрудника	3/0/0	0/0/0	0/0/0
		3.4	рабочий стол для работы с гербарием	0/0/0	0/0/0	0/0/0
		3.5	стол с законсервированным компьютером и бинокуляром	0/0/0	0/0/0	0/0/0
4	Обеденный стол	4.1	поверхность стола	24/0/0	13/0/0	1/0/0
		4.2	поверхность общего стола, ближайшая к обеденному	2/0/1	0/0/0	0/0/0
		4.3	поверхность чайника	3/0/2	0/0/0	1/0/0
		4.4	контейнер с запасами	6/0/2	0/0/1	0/0/0
		4.5	планшет с артефактами/гербарием	0/0/0	0/0/0	0/0/0
5	Окно № 1	5.1	внешний откос	3/0/0	0/0/0	0/0/0
		5.2	внутренняя часть профиля	0/-/-	0/-/-	0/-/-
		5.3	подоконник	0/0/0	0/0/0	0/0/0
6	Окно № 2	6.1	внешний откос	2/0/0	0/0/0	0/0/0
		6.2	внутренняя часть профиля	0/-/-	0/-/-	0/-/-
		6.3	подоконник	7/0/0	1/0/0	1/0/0

основания бинокуляра (1.4) объясняется тем, что при постоянной работе в этой зоне с источниками крахмала она накрывается изолирующим материалом. Все поверхности регулярно очищаются.

Рабочий стол с образцом 3.1 показал высокую концентрацию крахмала, что связано с регулярным приёмом пищи на этом месте одним из сотрудников. Судя по схеме расположения образцов и их составу, пища стала источником крахмала и в образце 6.3 с подоконника. За столом с образцом 3.3 приём пищи происходил эпизодически, количество крахмала там незначительно.

Столы, на которых работали с потенциальными источниками крахмала — гербарием и артефактами, напротив, показали его отсутствие. Это можно расценивать как подтверждение эффективности применяемых мер по предотвращению современного и перекрёстного заражения. Также это косвенно свидетельствует об отсутствии циркуляции крахмала в лаборатории.

Причина высокой концентрации микроостатков в зоне кухонного стола очевидна. При этом крахмал из пищи оказался настолько нелетуч, что не попал даже на расположенный рядом планшет, который находился по уровню выше стола на 50 см. Крахмал обнаружен на торце общего стола. Для этого образца (4.2) возможны следующие объяснения: перелетел, попал с рук или кто-то принимал там пищу. Откосы окон показали низкое содержание крахмала. Источник мог быть как внешний (уличный воздух), так и внутренний (вылетел из кабинета при проветривании). При этом в высококонцентрированной уличной пыли в профиле окна ничего не обнаружено.

Второй этап показал, что за две недели никакого распространения крахмала в кабинете не произошло. В этот период работали над извлечением крахмала из современных эталонных образцов, переупаковывали археологические коллекции и полевой инвентарь, пострадавшие от плесени. Ловушки поймали крахмал только на участке изготовления эталонов. Даже в обеденной зоне не было зафиксировано ни одной новой гранулы: приём пищи не проводился, продукты не хранили. В ловушки, расставленные в центральной части комнаты, кроме пылевых частиц и волокон попали лишь споры плесени.

Третий этап мы провели после завершения всех упаковочных мероприятий. Была сделана стандартная влажная уборка поверхностей. Образцы собрали с участков, которые показали наличие крахмала на первом этапе, чтобы оценить эффективность влажной уборки. Единичные гранулы были обнаружены в обеденной зоне и на поверхности стола между двух микроскопов. В первом случае можно предполагать недостаточно тщательную очистку поверхностей крышки чайника и контейнера, имеющих изрезанный рельеф, и возможный перенос крахмала на соседний стол. На втором участке мы связываем обнаружение крахмала с мелким инвентарём типа чашек Петри, в которые в процессе изготовления

эталонов временно складываются иглы, лезвия, флаконы с йодом, пипетка для йода. С их поверхностей крахмал мог попасть на стол. Как правило, очистка этих чашек проходит значительно реже, так как они не контактируют с артефактами, а для эталонов угроза загрязнения не столь значима. В любом случае необходимо отметить снижение частоты встречаемости крахмала после очистки поверхностей.

Источники крахмала

Рассмотрение типов обнаруженного контаминационного крахмала даёт возможность проверки наших предположений о его источниках. В рабочей зоне выявлены сгустки с бимодальным распределением гранул, что характерно для злаков трибы Пшеницевые (Triticeae) (рис. 2: *а*, *а′*). Набора характеристик недостаточно для точного установления вида. Единичные гранулы неспецифичны и могут принадлежать различным таксонам растений, их идентификация затруднена и не проводилась. Обнаруженный крахмал соответствует специфике работ, проводимых в этой зоне.

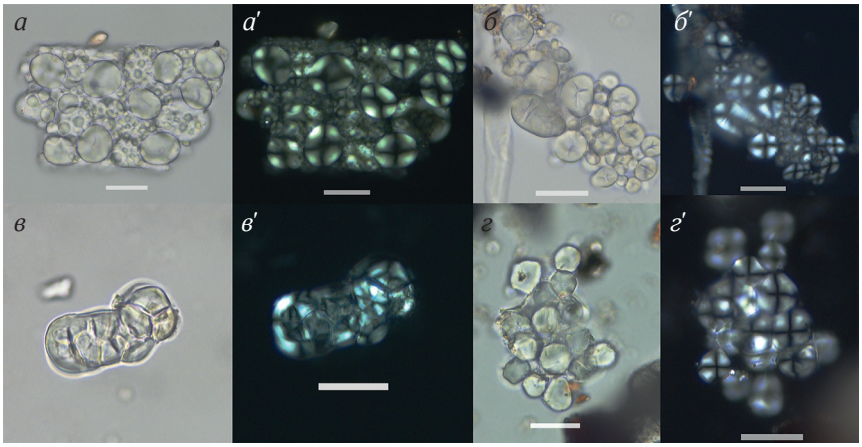

Рис. 2. Современные крахмалы, обнаруженные в лаборатории: *а*, *а′* — крахмал злаков трибы Пшеницевых (*Triticheae*) из образца 1.2; *б*, *б′* — крахмал рогоза (*Thypha sp.*) из образца 3.1; *в*, *в′* — крахмал овса (*Avena sp.*) из образца 4.1; *г*, *г′* — крахмал кукурузы (*Zea mays*) из образца 6.3. Режим съёмки: проходящий свет, *а*—*г* — светлое поле, *а′*—*г′* — поляризационный контраст. Масштабная линейка 20 мкм

Сочетание типов крахмала в образце 3.1 заслуживает отдельного внимания. Вместе с ним стоит рассматривать и пробы с подоконника окна № 2. На поверхности стола и подоконника обнаружены гранулы крахмала промышленного производства: злаков типа пшеницы/ржи/ячменя и кукурузы (рис. 2: *г*, *г′*). Крахмал без повреждений. Его источником стала пища, которую регулярно принимали за этим столом, скорее всего,

хлебобулочные изделия. Также на столе выявлены сгустки крахмала с остатками растительных тканей[4]. Эти микроостатки некоммерческого происхождения. Они определены как жёлудь, рогоз и бобовое (рис. 2: *б*, *б*'). Источником стали современные растения. На данном столе сотрудник длительное время хранил несколько видов жёлудей. Кроме того, на стол складывали использованные перчатки и микропробирки для бытовой реутилизации. Впоследствии использованные материалы стали убирать в пакет. Очевидно, что крахмал и фрагменты растений попали на поверхность стола, которую к тому же длительное время не очищали. Работа с артефактами на этом столе не проводилась.

На столе другого сотрудника обнаружены единичные гранулы крахмала пшениciевых злаков и бобовых из современных продуктов. Содержание проб, собранных в обеденной зоне, отражает состав хлебобулочных изделий с содержанием пшеницы, ржи и овса[5] (рис. 2: *в*, *в*'). Крахмал в образцах пыли с внешней стороны окна недиагностичный и малочисленный.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленные источники крахмала и отмеченные особенности его распространения помогают лучше понять алгоритм действий с любой археологической коллекцией для предотвращения современного загрязнения микроостатками. Крахмал широко применяется в современной жизни не только для пищевых производств. Например, он входит в состав пластилина. Поэтому использование этого материала для фиксации артефактов при фотографировании может повлиять на результаты МАК. Как правило, производители не указывают, какой именно крахмал входит в состав, но, по информации из сети Интернет, преимущественно он кукурузный. В любом случае обнаружение кукурузного крахмала в несоответствующем контексте должно обратить на себя внимание. Исследователь при этом должен быть знаком с разными типами крахмала и с его возможными современными источниками. С другой стороны, на примере обычной археологической лаборатории видно, что крахмал не является веществом, которое всегда и везде облаком следует за нами и засоряет вокруг всё, что возможно. Всегда важен контекст и разумный подход.

В пределах кабинета крахмал оказался нелетучим. По результатам первого этапа не зафиксировано ни вертикального, ни горизонтального перемещения микрочастиц. Различные участки показали разный набор типов крахмала, связанных с определёнными деятельностью и источниками. Практически половина образцов оказалась чистой. Результаты, представленные в табл. 1, показывают, что в зонах работы с источниками

[4] Фрагменты клеток — амилопластов, в которых запасается крахмал внутри зерновок, клубней и корней.

[5] Источник — овсяное печенье.

крахмала соблюдение мер предосторожности (работа в неопудренных перчатках, исключение нахождения еды, очистка многоразового оборудования, использование изолирующих покрытий, регулярная влажная очистка поверхностей) эффективно для предотвращения заражения артефактов современным и древним крахмалом через руки, грязные поверхности и по воздуху. При этом мы установили участки, внимание к которым было снижено, что привело к накоплению на них микроостатков.

Выявленные в лаборатории зоны загрязнения крахмалом связаны с изготовлением эталонов — извлечением крахмала из растений — и современными продуктами питания. Артефакты как источник крахмала в данном случае мы не рассматриваем. Они хранятся в пакетах, работа с ними проводилась над бумагой или фольгой, крахмал на их поверхности запечатан грязью в кавернах и трещинах. Подтверждает это и процедура переупаковки коллекций в ходе проведения исследования. Ни сами артефакты, ни старые и современные коробки[6], пакеты, полевой инвентарь, при работе с которыми ранее никто не соблюдал никаких протоколов чистоты, не стали источниками крахмала. А вот расположение в лаборатории зоны хранения и приёма пищи является высоким фактором риска. То, что коммерческий крахмал не был зафиксирован в зонах работы с артефактами, не гарантия его отсутствия при осуществлении будущих исследований. Выведение обеденной зоны за пределы подразделения — приоритетная задача.

После получения результатов дополнены правила, позволяющие снизить риск распространения крахмала. Так, извлечение древнего крахмала из образцов и подготовка препаратов перенесены в отдельное помещение без источников современного крахмала. Камеральная обработка, осмотр артефактов под микроскопом и получение образцов с их поверхности проводятся прежним способом и сопровождаются мерами по предотвращению загрязнения современным крахмалом, которые показали свою эффективность.

Использование ловушек на втором этапе показало, что сотрудники не были в этот период переносчиками крахмала. Конечно, такой сценарий возможен, но соблюдения простых мер предосторожности бывает вполне достаточно для поддержания «бескрахмального» уровня. Наши собственные наблюдения показывают, что, например, при работе с мукой её частицы оседают на коже, волосах, одежде и, таким образом, могут быть перенесены куда-либо. Понимание и отслеживание подобных нюансов, ответственный подход к соблюдению защитных мер помогут обеспечить достоверность исследования. В большинстве случаев достаточно тщательно мыть руки после контакта с продуктами и использовать неопудренные перчатки. Пути возможного заражения современным крахмалом и способы предотвращения этого стоит продумать и в случаях работы с артефактами в домашних и полевых условиях (Пантюхина 2020).

[6] В том числе и от различных продуктов питания.

Третий этап должен был продемонстрировать эффективность мер очистки поверхностей от крахмала. Как видно из результатов, на значительной части площадей влажная уборка помогала поддерживать «бескрахмальный» уровень. Дополнительная влажная уборка устранила большую часть осевшего крахмала. Особенности поверхности, очевидно, влияют на способность крахмала задерживаться на ней, как в случаях с пластиковой коробкой (4.4) и крышкой чайника (4.3). Причин попадания одной гранулы крахмала на стол (4.2)[7] может быть несколько. Однако низкая частота встречаемости вынуждает нас признать этот результат несущественным. В дальнейшем достаточно тщательно очистить поверхность и использовать дополнительные способы предотвращения загрязнения, отмеченные ранее. Крахмал, обнаруженный в рабочей зоне между микроскопами, указывает на необходимость более частой обработки не только поверхностей, но и всего оборудования, расположенного на них.

За время применения МАК в нашем кабинете ни в археологических, ни в современных эталонных образцах не был выявлен окрашенный йодом крахмал. Данный результат прямо указывает, что тщательная обработка водой оборудования многоразового использования обеспечивает необходимый уровень чистоты. В то же время это не повод отказываться от последующей процедуры замачивания инструментов и посуды в йодном растворе. Также в археологических образцах и пробах с участков, на которых работали с артефактами, не выявлено совпадающих типов крахмала. Артефакты демонстрировали неравномерное количественное и типологическое распределение крахмалов. Отсутствие каких-либо микроостатков в образце или на предмете — обычная ситуация. Эти личные наблюдения и результаты проведённого исследования указывают на эффективность предпринимаемых мер по предотвращению современного загрязнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоверность результатов — основа любого научного исследования. В случае с МАК она обеспечивается, прежде всего, исключением загрязнения изучаемых образцов современным крахмалом[8]. Практика показывает, что ни различные уровни защиты в крупных лабораториях, ни соблюдение протоколов чистоты не препятствуют проникновению крахмала в помещения. В такой ситуации стоит больше полагаться на комбинирование средств предотвращения, очистки и контроля в зависимости от условий.

МАК включает в себя различные процедуры: изготовление эталонов современного крахмала, сбор образцов с поверхности артефактов, изготовление препаратов и их исследование. На каждом из них существует

[7] Этот образец был собран с 1/3 части поверхности стола.

[8] Вопросы контаминации из вмещающих отложений в этой статье не рассматриваются.

опасность загрязнения современным крахмалом. На примере характеристики функционирования рабочего кабинета археологов мы предлагаем оптимальную и доступную стратегию контроля за загрязнением крахмалом и поддержания «бескрахмального» уровня:

- работа с артефактами и изготовление эталонов должны быть разграничены во времени и пространстве;
- необходимо исключить/ограничить наличие в кабинете пищевых продуктов и промышленных товаров с содержанием крахмала;
- в рабочем помещении нужно выявить источники крахмала и участки его распространения;
- эффективная очистка поверхностей и оборудования возможна доступными способами;
- ловушки — доступный инструмент для оценки распространения микроостатков по воздуху.

Описанный опыт будет полезным не только при организации подобных лабораторий, но и для стандартных рабочих кабинетов и камеральных помещений, где происходит работа с артефактами. Одно из достоинств МАК в том, что он позволяет комбинировать и модифицировать некоторые свои процедуры в зависимости от условий. Однако любые изменения требуют проверки и обоснования.

ЛИТЕРАТУРА

Мурашкина, И.А., Гордеева, В.В. 2018. *Вспомогательные вещества в фармацевтической технологии*. Иркутск: ИГМУ.

Пантюхина, И.Е. 2020. Метод анализа древнего крахмала в вопросах и ответах. *Мультидисциплинарные исследования в археологии*. № 1: 103—118.

Пантюхина, И.Е., Вострецов, Ю.Е., Иванов, В.В. 2018. Метод анализа остатков древнего крахмала в эволюционной археологии: пример исследования. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. № 4: 95—104.

Скакун, Н.Н., Лонго, Л., Терехина, В.В., Пантюхина, И.Е., Эредия, Х., Шульга, Д.М. 2021. Результаты комплексных исследований крупного каменного предмета из верхнепалеолитической стоянки Сюрень I. *Camera praehistorica*. № 1: 8—24.

Технология 1981: *Технология крахмала и крахмалопродуктов*. М.: Лёгкая и пищевая промышленность.

Crowther, A., Haslam, M., Oakden, N., Walde, D., Mercader, J. 2014. Documenting Contamination in Ancient Starch Laboratories. *Journal of Archaeological Science*. No. 49: 90—104.

D'Amato, G., Liccardi, G., Frenguelli, G. 2007. Thunderstorm-asthma and Pollen Allergy. *Allergy*. No. 62: 11—16.

Dozier, C.A. 2016. Airborne Starch Dispersal from Stone Grinding: Experimental Results and Implications. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol. 8: 112—115.

Haslam, M. 2004. The Decomposition of Starch Grains in Soils: Implications for Archaeological Residue Analyses. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 31: 1715—1734.

Loy, T., Barton, H. 2006. Post-excavation Contamination and Measures for Prevention. Torrence, R., Barton, H. (eds.). *Ancient Starch Research*. Walnut Creek, California: Left Coast Press: 165—167.

Newsom, S.W.B., Shaw, M. 1997. A Survey of Starch Particle Counts in the Hospital Environment in Relation to the Use of Powdered Latex Gloves. *Occupational Medicine*. Vol. 47. Iss. 3: 155—158.

Valamoti, S.M., Delwen, S., Bayram, M., Marinova, E. 2008. Prehistoric Cereal Foods from Greece and Bulgaria: Investigation of Starch Microstructure in Experimental and Archaeological Charred Remains. *Vegetation History and Archaeobotany*. No. 17: 265—276.

REFERENCES

Murashkina, I.A., Gordeeva, V.V. 2018. *Vspomogatel'nye veshchestva v farmatsevticheskoy tekhnologii* [Excipients in Pharmaceutical Technology]. Irkutsk, IGMU Publ. (In Russ.)

Pantyukhina, I.E. 2020. Metod analiza drevnego krakhmala v voprosakh i otvetakh [The Ancient Starch Analysis Method in Questions and Answers]. *Multidistsiplinarnye issledovaniya v archeologii*, no. 1: 103—118. (In Russ.)

Pantyukhina, I.E., Vostretsov, Yu.E., Ivanov, V.V. 2018. Metod analiza ostatkov drevnego krakhmala v evolyutsionnoy arkheologii: primer issledovaniya [Method of Starch Residue Analysis in Evolutionary Archaeology: Case of Study]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy academii nauk*, no. 4: 95—104. (In Russ.)

Skakun, N.N., Longo, L., Terekhina, V.V., Pantyukhina, I.E., Heredia, J., Shulga, D.M. 2021. Rezul'taty kompleksnykh issledovaniy krupnogo kamennogo predmeta iz verkhnepaleoliticheskoy stoyanki Syuren' I [Results of the Integrated Study of a Large Stone Tool from the Upper Paleolithic Site Suren I]. *Camera praehistorica*, no. 1: 8—24. (In Russ.)

Tekhnologiya 1981: *Tekhnologiya krakhmala i krakhmaloproduktov* [Starch and Starch Products Technology]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ. (In Russ.)

Crowther, A., Haslam, M., Oakden, N., Walde, D., Mercader, J. 2014. Documenting contamination in ancient starch laboratories. *Journal of Archaeological Science*, no. 49: 90—104. (In Eng.)

D'Amato, G., Liccardi, G., Frenguelli, G. 2007. Thunderstorm-asthma and Pollen Allergy. *Allergy*, no. 62: 11—16. (In Eng.)

Dozier, C.A. 2016. Airborne Starch Dispersal from Stone Grinding: Experimental Results and Implications. *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 8: 112—115. (In Eng.)

Haslam, M. 2004. The Decomposition of Starch Grains in Soils: Implications for Archaeological Residue Analyses. *Journal of Archaeological Science*, vol. 31: 1715—1734. (In Eng.)

Loy, T., Barton, H. 2006. Post-excavation Contamination and Measures for Prevention. Torrence, R., Barton, H. (eds.). *Ancient Starch Research.* Walnut Creek, California, Left Coast Press Publ.: 165—167. (In Eng.)

Newsom, S.W.B., Shaw, M. 1997. A Survey of Starch Particle Counts in the Hospital Environment in Relation to the Use of Powdered Latex Gloves. *Occupational Medicine*, vol. 47, iss. 3: 155—158. (In Eng.)

Valamoti, S.M., Delwen, S., Bayram, M., Marinova, E. 2008. Prehistoric Cereal Foods from Greece and Bulgaria: Investigation of Starch Microstructure in Experimental and Archaeological Charred Remains. *Vegetation History and Archaeobotany*, no. 17: 265—276. (In Eng.)

Дата поступления в редакцию 25.01.2022