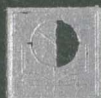


Л. Н. ЛОВАЧЕВ
М. А. ВОЛКОВ
О. Б. ЦЕРЕВИТИНОВ

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ТОВАРОВ
ПРИ ХРАНЕНИИ



ЭКОНОМИКА

**Л. Н. ЛОВАЧЕВ
М. А. ВОЛКОВ
О. Б. ЦЕРЕВИТИНОВ**

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ТОВАРОВ
ПРИ ХРАНЕНИИ**

МОСКВА «ЭКОНОМИКА» 1980

ББК 65.9(2)421.5
Л68

Л $\frac{31700-176}{011(01)-80}$ 125-80. 3503000000

© Издательство «Экономика», 1980

ВВЕДЕНИЕ

В СССР уделяется большое внимание сохранению сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров. Генеральный секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР товарищ Л. И. Брежнев, выступая 2 марта 1979 г. перед избирателями Бауманского района города Москвы, сказал: «...сельское хозяйство — составная часть агропромышленного комплекса, призванного обеспечить страну сырьем и продовольствием. Мерой успеха здесь должны стать не только собранный урожай, но прежде всего то, что поступает потребителю, — на прилавки магазинов, на колхозные рынки, на стол советских людей. Это — конечный результат всех усилий, и его надо считать главным».

Сокращение потерь и сохранение качества и пищевой ценности продуктов при хранении является проблемой большой народнохозяйственной важности.

Пищевые продукты по химическому составу представляют собой многокомпонентные системы, содержащие азотистые вещества и липиды, углеводы и минеральные соединения, витамины и ферменты. При хранении продуктов каждое из этих соединений претерпевает сложные изменения, которые могут привести к снижению их пищевой ценности и вкусовых достоинств, сделать продукт малопригодным или непригодным для питания человека. Кроме того, возможны и количественные потери продуктов главным образом за счет испарения влаги и выделения летучих соединений в виде ароматических веществ, углекислоты и других веществ.

Все процессы, протекающие в пищевых продуктах при хранении, тесно связаны с особенностями химического состава, строением тканей, микробиологической обсемененностью и обусловлены воздействием окружающей среды.

Потери пищевых продуктов приносят значительные экономические убытки во всех странах.

Проблему, связанную с разработкой рациональных способов хранения пищевых продуктов, можно решить только на основе глубоких исследований основных процессов, протекающих в продуктах при хранении. При этом важно также знать

характер взаимосвязи между продуктами и окружающей средой.

Для установления предельных сроков хранения пищевых продуктов необходимо выявить основные процессы, в результате которых снижается доброкачественность продуктов, и в первую очередь их органолептические свойства. С целью увеличения сроков хранения продуктов питания необходимо затормозить процессы, вызывающие порчу продукта. При этом следует учитывать, что, создавая неблагоприятные условия для одних процессов, можно одновременно ускорить другие нежелательные изменения в продуктах. Так, при замедлении микробиологических процессов создаются благоприятные условия для неферментативного потемнения. С другой стороны, при затормаживании реакций неферментативного потемнения наблюдается интенсивное автоокисление жиров.

Свойства пищевых продуктов и их изменение при хранении следует изучать в условиях многофакторности внутренних и внешних воздействий, а связь между изменениями продуктов и режимами их хранения — на основе обобщения результатов экспериментальных наблюдений. Такой подход позволяет выявить основные факторы и оценить степень их влияния на те или иные химические и физико-химические процессы, протекающие в продуктах при хранении.

Результаты многочисленных исследований, проведенных как отечественными учеными, включая и авторов настоящей монографии, так и зарубежными, позволяют на научной основе решать сугубо практические задачи по сокращению потерь продуктов питания при хранении.

При разработке рациональных способов снижения потерь продуктов при хранении наряду с изменениями, протекающими в продуктах, и факторами их обуславливающими, важно знать тепло- и массообменные процессы, происходящие в складах-хранилищах для пищевых продуктов. Пользуясь теплофизическими методами, можно объективно судить об оптимальных условиях хранения каждого из продуктов, выбирать рациональные технические средства для их поддержания в складах-хранилищах. Теплофизические методы позволяют построить математические модели для изучения конкретных процессов.

Данные исследований состава, физико-химических свойств пищевых продуктов в соответствии с условиями их хранения и требованиями к качеству позволяют решать задачи прогнозирования сроков хранения продуктов.

При рассмотрении условий хранения продовольственных товаров в торговой сети, на предприятиях общественного пита-

ния, а также на холодильниках и базах авторами дана характеристика особенностей хранения не всех пищевых продуктов, а главным образом тех, которые пригодны для долгосрочного хранения, преимущественно продуктов с низкой и промежуточной влажностью, некоторых баночных консервов и мороженого мяса.

В настоящей монографии авторами на основе комплексных товароведно-термодинамических исследований сделана попытка дать рекомендации по снижению потерь пищевых продуктов при хранении с учетом особенностей их химического состава и способности обмениваться теплом и влагой с окружающей средой.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность проф. М. А. Габриэлянцу и проф. А. С. Гинзбургу за ценные советы и пожелания, сделанные при подготовке монографии к изданию.

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ПРОДУКТАХ ПРИ ХРАНЕНИИ

ВОДА И ПРОЦЕССЫ СОРБЦИИ

Пищевая ценность, вкусовые достоинства пищевых продуктов, их стойкость при хранении обусловлены входящими в их состав веществами органического и неорганического происхождения. Из всех компонентов продуктов питания наибольшее влияние на их свойства оказывает вода. Во многих пищевых продуктах, и даже в тех, в которых количество воды было преднамеренно снижено в процессе обработки с целью повышения их устойчивости при хранении, вода занимает наибольший удельный вес. Так, в сушеном картофеле, общая влажность которого 6,5%, на каждые 3,6 моля воды приходится 3,1 моля крахмала и 0,46 моля белка.

В пищевых продуктах взаимодействие сухих веществ и воды носит весьма различный характер: одни вещества (сахара, кислоты, минеральные соли, ароматические соединения и пигменты) растворяются в ней, другие (протеины) находятся в коллоидном состоянии или почти нерастворимы (липиды). Как растворитель вода участвует во всех процессах, протекающих в продуктах при хранении. Ее можно рассматривать как реакционную среду, ускоряющую химические реакции, или как реагент при гидролизе белков, липидов, полисахаридов. При определенных концентрациях вода может выполнять роль антиокислителя или, наоборот, ускорять окисление. Вода влияет не только на химические процессы, но и на изменение физических свойств и структурных особенностей пищевых продуктов. Образую внутримолекулярные соединения с белком или водорастворимые связи с потенциальными группами структурных макромолекул, включая и полисахариды, вода способна сохранять структуру самого продукта.

Изменение структуры пищевых продуктов при хранении, а также других их физических свойств может происходить и в результате химических реакций.

Характер воздействия воды на процессы, протекающие в пищевых продуктах при хранении, определяется прежде всего общим количеством содержащейся в них воды.

По количеству влаги пищевые продукты целесообразно разделить на три основные группы: продукты с высоким содержанием влаги (более 40% воды), со средней, или промежуточной, влажностью (от 10 до 40% воды) и с низкой влажностью (менее 10% воды).

В продуктах с высокой влажностью большая часть воды не связана с компонентами пищевых продуктов. При значительных изменениях влажности таких продуктов наблюдаются весьма небольшие изменения в давлении водяного пара над продуктом (от 0,9 до 1,0).

В продуктах со средней, или промежуточной, влажностью большая часть воды связана с компонентами сухого вещества. В таких продуктах с изменением содержания воды наблюдаются значительно большие изменения в давлении водяного пара над продуктом (от 0,6 до 0,9). Наиболее существенные изменения в давлении водяного пара (от 0 до 0,6) происходят в продуктах с низкой влажностью, у которых почти вся вода находится в связанном состоянии.

В продуктах с высокой влажностью химическое воздействие воды доминирует над физическим. Такие физические свойства продуктов, как плотность, удельная теплоемкость, диэлектрическая постоянная, температура замерзания, вязкость, приближаются к подобным свойствам чистой воды. В продуктах с низкой влажностью изменение общего содержания воды существенно влияет на перечисленные выше свойства. В таких продуктах наблюдается одновременное снижение и химической активности воды. Границы влажности трех групп пищевых продуктов и гипотетическая кривая, характеризующая зависимость между содержанием воды в продукте и относительным давлением водяного пара над продуктом, представлены на рис. 1. Обращают на себя внимание два значения между уровнями влажности пищевых продуктов, характеризующие относительное давление водяного пара, — 0,6 и 0,9. Эти интервалы между ними играют важную биологическую роль в жизнедеятельности микроорганизмов. При относительной влажности водяного пара над продуктом ниже 0,6 на пищевых продуктах микроорганизмы не развиваются. При относительном давлении водяного пара в пределах от 0,6 до 0,9 возможен рост некоторых плесеней и дрожжей. При относительном давлении водяного пара ниже 0,9 большинство микробов утрачивают свою жизнедеятельность.

Изложенным подтверждается определяющая роль воды в устойчивости пищевых продуктов к химическим и микробиологическим процессам, вызывающим их порчу.

Практика показывает, что при разработке оптимальных условий абсолютная влажность пищевых продуктов не является решающим фактором. Такие продукты, как сахар-песок влажностью 0,12%, чай влажностью 8%, сыр, содержащий 40%

влаги, можно хранить при одинаковой относительной влажности воздуха 70%. Более важным показателем, обеспечивающим устойчивость пищевых продуктов при хранении, является не абсолютная их влажность, а активность воды a_w , характеризующая доступность продуктов к воздействию окружающей атмосферы. В литературе понятие активности воды появилось в 1953 г. (В. И. Скотт). Активность воды a_w выражают как отношение давления водяного пара в пограничном слое над продуктом p к давлению водяного пара над чистой водой p_0 при одной и той же температуре:

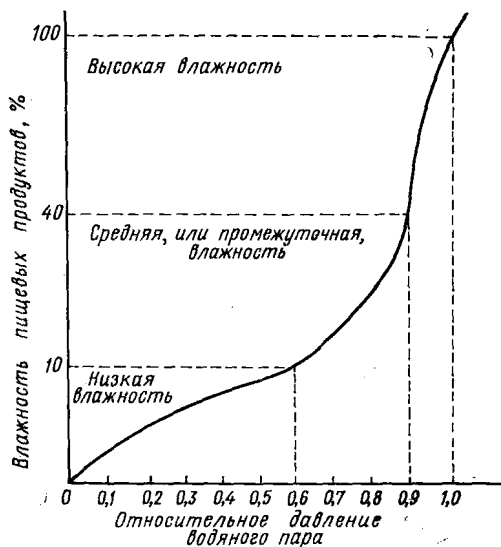


Рис. 1. Гипотетическая кривая, характеризующая зависимость между содержанием воды в продукте и относительным давлением водяного пара над продуктом

$$a_w = p/p_0.$$

Для характеристики однокомпонентных систем, таких, как растворы сахаров или солей, активность воды a_w выражают как отношение количества молей воды в воздухе к сумме молей воды в продукте и молей растворенного вещества. В многокомпонентных пищевых продуктах не вся вода ведет себя как растворитель. С одной стороны, часть ее связана с функциональными группами нерастворимых органических веществ, с другой стороны, не все растворимые вещества переходят в раствор, часть их связывается нерастворимыми компонентами про-

дукта. Например, минеральные соли могут взаимодействовать с белками, образуя нерастворимые комплексы.

Вместе с тем активность воды является функцией влагосодержания продукта, его химического состава и структуры. Другими словами, ее можно считать мерой эффективной концентрации воды в продукте, при которой создаются условия, доступные для развития микроорганизмов и химических реакций.

Активность воды связана с общим содержанием ее в продукте. Продукты с высокой влажностью обычно содержат больше свободной воды, необходимой для развития микроорганизмов, имеют высокую активность воды. При высушивании влажного продукта количество свободной воды снижается и условия для развития микроорганизмов ухудшаются. При снижении активности воды наступает такое состояние, когда микрофлора не может развиваться. Активность воды в большей степени, чем общее содержание воды в продукте, определяет нижний предел доступности ее для микроорганизмов. Для большинства бактерий такой нижний предел активности воды a_w составляет менее 0,9, для плесеней $a_w=0,75$.

Активность воды можно снизить не только удалением ее, но и добавлением различных растворимых в воде веществ, которые повышают содержание связанной воды. В этом случае активность воды будет функцией химического состава продукта. Понижение активности воды возможно в результате капиллярных сил. Собственно вода, заключенная в капиллярах, является свободной, но слой ее у стенок капилляра оказывается связанным. При положительном смачивании давление водяного пара над вогнутым мениском оказывается ниже по сравнению с давлением водяного пара над плоской поверхностью чистой воды. Снижение активности воды зависит также от диаметра капилляров, а следовательно, от структуры пищевых продуктов. Исходя из изложенного легко проследить тесную связь между активностью воды и устойчивостью пищевых продуктов при хранении. Активность воды особенно сильно влияет на свойства пищевых продуктов со средней и низкой влажностью, где вода выступает как растворитель реагентов для химических реакций, как реагент в гидролитических процессах, как катализатор или ингибитор ряда процессов. В этих продуктах вода выполняет одновременно мобилизующую роль во всех ферментативных процессах, являясь переносчиком субстрата к активным центрам ферментов.

Влияние активности воды на основные свойства пищевого продукта обуславливается формами связи влаги его с другими компонентами (А. И. Чуприна, 1968).

Различают четыре формы связи влаги с материалами, и в частности с компонентами пищевых продуктов: химическую, адсорбционную, осмотическую и капиллярно-связанную. По схеме академика П. А. Ребиндера (1958) формы связи влаги с компонентами продукта разделяют на три основные группы: химическую, физико-химическую и физико-механическую. Каждая форма связи характеризуется энергией связи обезвоживания, рассчитываемой по формуле

$$E = -RT \ln \varphi, \quad (I.1)$$

где E — энергия связи обезвоживания;

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура;

φ — относительная влажность воздуха.

Химически связанную воду разделяют на воду гидрата в составе гидроксильных групп (ионная связь) и воду молекулярных соединений в виде кристаллогидратов (молекулярная связь). Ионная связь образуется при химических реакциях, когда вода теряет свои свойства. Молекулярная связь, возникающая при образовании кристаллогидрата, способна разрушаться при нагревании. Из всех форм связи химически связанная вода обладает наибольшей энергией.

Адсорбционно-связанная вода характеризуется средней интенсивностью прочности связи. Она образуется в результате притяжения диполей воды полярными молекулами, расположенными на поверхности продукта. При образовании такой связи молекулы воды могут сохранить свои свойства, в этом случае имеет место физическая адсорбция. Если же молекула воды расщепляется на ионы, то происходит химическая адсорбция, или хемосорбция.

Одновременно с адсорбцией водяных паров поверхностными молекулами продукта возможна диффузия влаги в массу сорбента. В этом случае наблюдается процесс абсорбции.

Увлажнение капиллярно-пористых тел, какими является большинство пищевых продуктов, осуществляется в результате адсорбции влаги, образования раствора и проникновения его в клетки пищевого продукта за счет разности концентрации растворенных веществ. Образуется осмотически связанная вода. При этом концентрация свободных молекул воды в результате связывания их молекулами растворенного вещества уменьшается и активность воды снижается.

Пищевой продукт представляет собой капиллярно-пористое тело с порами различного диаметра, которые могут быть за-

полнены жидкостью. При этом происходит капиллярная конденсация, завершающая сорбцию водяного пара. При активности воды $a_w = 1,0$ сорбционная способность пищевого продукта как сорбента считается полностью исчерпанной.

Капиллярно-связанная влага образуется за счет адсорбции молекул воды стенками капилляров и понижения давления водяного пара над вогнутым мениском жидкости.

В отличие от химических соединений формы связи влаги в пищевых продуктах не являются строго определенными. Их термодинамическая прочность изменяется в широких пределах и служит мерой гидрофильности продукта. Из разнообразных свойств пищевых продуктов важное значение имеет их способность поглощать пары влаги из окружающей воздушной среды. Эта способность пищевых продуктов обуславливает сорбционные процессы при их хранении.

Сорбционные процессы протекают в тех случаях, когда окружающая среда оказывает гигротермическое воздействие на пищевые продукты. Они весьма разнообразны и имеют индивидуальную физико-химическую природу. Сорбционные процессы являются обратимыми. По мере поглощения влаги активность воды повышается, возрастает давление водяного пара над продуктом и наступает момент, когда оно выравняется с давлением водяного пара в воздухе, т. е. создается сорбционное равновесие, при котором скорости адсорбции и десорбции уравниваются.

При исследовании сорбционных свойств пищевых продуктов в первую очередь следует изучать изотермы сорбции и десорбции (рис. 2).

Изотерма сорбции характеризует водосвязывающую способность продукта — его гигроскопичность.

Изотермы сорбции и десорбции получают экспериментальным путем для каждого пищевого продукта и для каждой температуры.

Изотерму сорбции получают, измеряя массу воды в продукте, помещенном в сухом состоянии в атмосферу с возрастающей относительной влажностью воздуха. Изотерму десорбции получают, помещая сырой продукт в атмосферу с понижающейся относительной влажностью воздуха. По экспериментальным данным получают зависимость $W_p = f(a_w)$ и строят график в координатах a_w и W_p . Для многих пищевых продуктов изотерма десорбции имеет S-образный вид.

Анализ изотерм сорбции и десорбции позволяет в общем виде охарактеризовать основные формы связи влаги с компонентами продукта. В интервале активности воды a_w от 0 до

0,2, что соответствует небольшой влажности продукта, отрезок AB изотермы характеризует мономолекулярную адсорбцию. В этой области гигроскопического состояния увлажнение продукта сопровождается выделением тепла, что обусловлено большой энергией связи воды с компонентами продукта.

По представлениям Л. М. Никитиной (1968), начальная стадия процесса сорбции влаги продуктом из атмосферы заключается в притяжении молекул водяного пара находящимися на поверхности молекулами гидрофильных веществ продукта. Об-

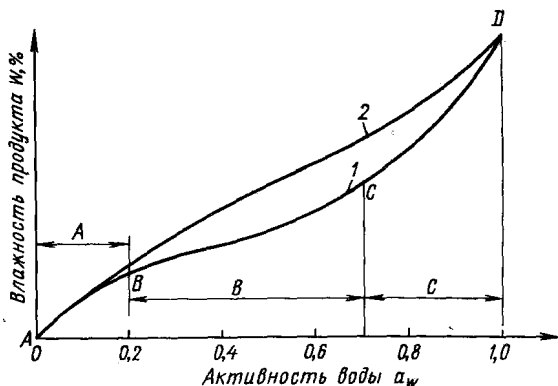


Рис. 2. Изотермы сорбции (1) и десорбции (2), характерные для пищевых продуктов

разуется слой сорбированной влаги, толщина которого соответствует размеру одной молекулы. При низкой влажности воздуха практически мгновенно образуется мономолекулярный слой сорбированной воды. Каждая дипольная молекула воды на поверхности продукта в процессе сорбции принимает ориентированное положение и теряет подвижность. Благодаря высокой полярности сорбированных молекул воды возможно образование первого слоя диполей, второго, третьего и т. д. Следует отметить, что для сложной структуры пищевых продуктов с сильно развитой поверхностью такое последовательное образование адсорбционных слоев весьма условно. В действительности поверхность пищевого продукта не обладает энергетической однородностью, разные участки поверхности адсорбента имеют различный потенциал. В зонах с высокими адсорбционными потенциалами образуются островки воды, которые по-

мере увлажнения увеличиваются в размерах и постепенно покрывают поверхность продукта слоем влаги.

В интервале активности воды a_w от 0,2 до 0,65 отрезок BC изотермы (см. рис. 2) обращен некоторой выпуклостью к оси ординат. На этом отрезке изотермы наблюдается полимолекулярная адсорбция, при которой поглощение влаги продуктом сопровождается значительно меньшим выделением тепла.

Отрезок CD соответствует капиллярной конденсации влаги. Интенсивность связи этой формы влаги с продуктом весьма незначительна. На этом этапе сорбционного процесса количество удерживаемой влаги неопределенно. Вода, сконденсированная на пористой структуре продукта, является растворителем всех компонентов как органического, так и минерального происхождения. Активность воды резко повышается, а растворенные в ней вещества характеризуются высокой реакционной способностью. Естественно, что при такой активности воды пищевые продукты становятся непригодными для хранения. Даже для продуктов с низкой влажностью, таких, как сахар-песок, зона, характеризующая резкий подъем изотерм сорбции, является зоной неприемлемых условий хранения.

Большинство пищевых продуктов, кроме соли и сахара, имеют сложное строение, одновременно они являются и гидрофильными гелями с различной степенью гидрофильности, и капиллярно-пористыми телами с капиллярами различных диаметров.

В практике хранения пищевых продуктов не может быть резкого разграничения в последовательности образования форм связи продукта с влагой; в них одновременно протекает ряд процессов. Так, при полимолекулярной адсорбции образуется осмотически связанная влага, происходят капиллярная конденсация, абсорбция и хемосорбция. Но каждой области изотермы соответствуют в основном те процессы, которые были рассмотрены выше.

В процессе сорбции влаги пищевыми продуктами важным моментом является образование петли сорбционного гистерезиса в результате неполного удаления влаги в процессе десорбции (см. рис. 2).

Известно, что изотермы сорбции и десорбции совпадают только в двух крайних точках ($a_w=1,0$ и $a_w=0$). Во всем остальном интервале гигроскопической области они не совпадают. Наибольшие расхождения между изотермами сорбции и десорбции наблюдаются при активности воды $a_w=0,3-0,8$, т. е. в областях полимолекулярного слоя и капиллярной конденсации.

Сорбционный гистерезис обусловлен необратимостью процессов различных форм связи воды, особенно в области капиллярной конденсации. Во время хранения пищевых продуктов резкие колебания относительной влажности воздуха могут вызвать необратимые изменения, в результате чего влажность пищевых продуктов повысится при одних и тех же условиях хранения. Такие необратимые изменения часто можно наблюдать при хранении сахара, муки, сухого молока, сушеных плодов и овощей.

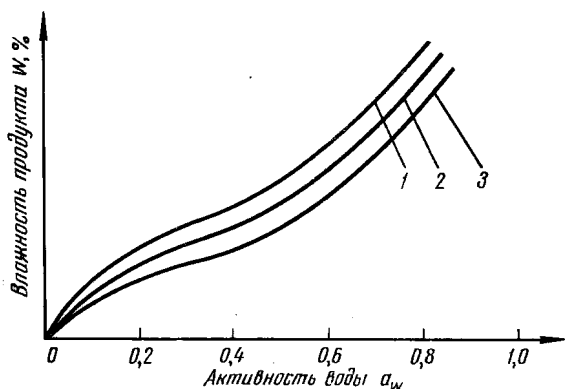


Рис. 3. Кривые, характеризующие равновесную влажность пищевых продуктов в зависимости от температуры:
1 — 20° С; 2 — 30° С; 3 — 50° С

Анализ экспериментальных данных, характеризующих равновесную влажность пищевых продуктов при разных температурах, показал, что с повышением температуры равновесная влажность уменьшается (рис. 3). При этом общий характер изотермы сохраняется, однако влияние температуры на равновесную влажность в разных участках изотермы неодинаково. В области полимолекулярной адсорбции с повышением температуры равновесная влажность снижается сильнее, чем в области мономолекулярной адсорбции и капиллярной конденсации.

Установленная экспериментальным путем зависимость равновесной влажности пищевых продуктов от температуры объясняется тем, что с увеличением температуры начинает существенно возрастать давление водяного пара и над чистой водой,

и над продуктом, соотношение же p/p_0 изменяется незначительно и только за счет того, что парциальное давление водяного пара над продуктом ниже, чем давление водяного пара над чистой водой. С увеличением температуры при постоянной влажности воздуха возрастает активность воды, в результате чего снижаются гигроскопические свойства и количество воды, сорбированной продуктом из окружающей среды. Эту зависимость можно описать уравнением, вытекающим из соотношения Клапейрона:

$$\frac{d(\ln a_w)}{d(1/T)} = -\frac{Q_s}{R}, \quad (1.2)$$

где Q_s — общая теплота сорбции;
 R — газовая постоянная;
 T — абсолютная температура.

Общую теплоту сорбции Q_s можно получить, пользуясь графиком, характеризующим зависимость ее от величины, обратной температуре, $1/T$. Указанная выше температурная зависимость не распространяется на такие продукты, как растительное масло и сахар. Водопоглотительная способность масел, хотя и является незначительной, увеличивается с возрастанием температуры. Аналогичная зависимость наблюдается и для сахаров в связи с ростом растворимости их в воде при повышении температуры (М. Лонсин, Х. Вайсер, 1977). На равновесное влагосодержание влияет большое количество внешних и внутренних факторов. Условия взаимодействия молекул водяного пара с пищевым продуктом зависят от структуры продукта и его химического состава. Из-за неоднородности пищевых продуктов невозможно получить теоретическим путем уравнение сорбции для всей гигроскопической области. Лишь на основе экспериментальных данных можно вывести эмпирическую формулу, которая показывает связь между равновесным влагосодержанием и активностью воды для данного продукта.

Нами с сотрудниками (М. А. Волков, О. Б. Церевитинов, В. Д. Михайлов, 1973) в результате исследования гигроскопических свойств различных пищевых продуктов в диапазоне активности воды a_w от 0,4 до 0,9 для расчета сорбционных процессов предложена следующая зависимость:

$$u = \frac{1}{a - ba_w}, \quad (1.3)$$

где u — равновесное влагосодержание, кг/кг;

a_w — активность воды;

a, b — параметры, зависящие от вида продукта.

Уравнение (1.3) можно применять для экстраполяции кривых равновесной влажности при ограниченном количестве данных (не менее двух).

При наличии достаточной влажности порча пищевых продуктов в первую очередь происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов.

В значительной степени порча продуктов питания обусловлена ферментными системами самого продукта. Известны виды порчи, происходящие и без участия ферментов, т. е. небиологического характера. Интенсивность порчи того или иного вида определяется активностью воды над продуктом. В продуктах с высокой активностью воды биологические процессы преобладают над небиологическими и наблюдать последние не представляется возможным. Однако в пищевых продуктах с высоким содержанием липидов даже при высокой активности воды небиологические процессы (окислительные) могут доминировать над биологическими.

Для продуктов с низкой и промежуточной влажностью, а также замороженного мяса и баночных консервов характерна порча небиологического происхождения, в частности окисление и неферментативное потемнение. Предотвращение этого вида порчи позволяет сократить не только количественные потери пищевых продуктов при хранении, но и потери, связанные со снижением пищевой ценности продукта или утратой вкусовых достоинств, ценимых потребителем.

Среди видов порчи пищевых продуктов можно выделить порчу, вызываемую химическими и физическими процессами. Примером ухудшения качества вследствие физических процессов являются механический разрыв тканей мяса крупными кристаллами льда при медленном замораживании или температуре хранения замороженного мяса выше -18°C , комкование сахара-песка при колебаниях его влажности или песчанность сгущенного молока.

Порча, вызванная химическими процессами, связана с окислением липидов, витаминов, разложением аминокислот, изменением цвета, запаха и вкуса продуктов.

Интенсивность того или иного вида порчи пищевых продуктов определяется рядом внутренних и внешних факторов, и прежде всего активностью воды a_w . Зависимость скорости процессов, происходящих в продуктах при хранении, от уровня активности воды представлена на рис. 4. На фоне общего