

БИОХИМИЯ

А. КИЗЕЛЬ, Н. ВАСИЛЬЕВА и Г. ЦЫГАНКОВА

**ИССЛЕДОВАНИЯ НАД ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ВЛАГИ В МАССЕ  
ХРАНЯЩЕГОСЯ ЗЕРНА**

*(Представлено академиком Н. Д. Зелинским 13 V 1939)*

Гарантийный максимум содержания влаги, который может быть допущен при ссыпке зерна и при его хранении, при правильном ведении хозяйства должен быть строго установлен. Однако было бы ошибочным думать, что этот гарантийный максимум влажности зерна при всех условиях хранения может быть одинаковым.

Отделяемость воды от коллоидов зерна определяется тремя факторами, а именно адсорбционным сродством между коллоидами и водой, количеством наличной воды и температурой зерна и среды. Последним фактором стираются строгие границы между свободной и связанной водой, и гарантийный максимум влажности зерна будет находиться в определенной зависимости от температуры, имеющейся в хранилище. Более высокая температура хранения при всех прочих равных условиях должна сдвинуть соотношение между свободной и связанной водой в зерне в сторону первой и увеличить тем самым как потери веса в результате дыхательных процессов, так и работу пробуждающихся к деятельности от присутствия свободной воды ферментов, а также микроорганизмов, безопасных спутников зерна только до момента появления в нем свободной воды.

Как и во всякой другой воздушно-сухой системе, в зерне нужно предполагать крайнюю подвижность заключенной в нем воды: соотношение между свободной и связанной водой должно находиться в постоянном движении исключительно под влиянием температурных изменений при полной физико-химической и химической константности его коллоидов. В местах более низкой температуры должны возникнуть очаги повышенной, а в местах более высокой температуры очаги пониженной влажности, ибо в последних вода будет находиться в более свободном состоянии, иметь большую упругость паров, а потому перегоняться в места, где вода более сильно связана и где упругость паров меньше, т. е. в участки зерна с более низкой температурой.

Целью настоящей работы было проверить высказанные теоретические положения на опыте и вывести соответствующие заключения для хранящегося в больших массах зерна. В хранящейся массе зерна мы искусственным образом создавали местное охлаждение, рассчитывая этим установить неравномерное распределение влаги со всеми вытекавшими отсюда

последствиями: кроме переноса влаги мы имели в виду вызвать этим переносом местные очаги испорченного, готового к самосогреванию зерна. Меня содержание влаги в поступавшем в опыт зерне, мы хотели иметь возможность судить об эффективности переноса воды от одной части зерна к другой не только от разницы температур, но и от влажности зерна. Можно было ожидать, что между содержанием влаги в зерне и необходимой для переноса влаги температурой существует известная коррелятивная связь.

Для постановки опытов была взята яровая мягкая пшеница. Нужное увлажнение достигалось погружением зерна в решете в воду на время, заранее определенное, после чего зерно вываливалось для обсушивания на толстую марлевуую подушку. Подсушка зерна для опытов производилась в термостатах при 28—30° при слое зерна в 4—5 см. Опыты ставились в 6-литровых стеклянных стаканах с деревянными крышками при тепловой изоляции войлоком и клеенкой. Через крышку проходил холодильничек, производивший местное охлаждение в зерне, и отдельно термометр. Охлаждаемый участок зерна изолировался в пропарафиненном марлевом мешочке. В мешочек насыпалось около 60 г того же зерна, которым заполнялся весь сосуд. Холодильничек представлял короткий цилиндрический стеклянный сосуд емкостью около 20—25 см<sup>3</sup>, в который были впаяны приводящая и отводящая трубки, изолированные от остального зерна двойной стеклянной муфтой.

Результаты произведенных опытов для наглядности представлены в следующих двух таблицах. В табл. 1 приведены данные с более низкой (комнатной) температурой, в табл. 2—с более высокой, установленной в термостате.

Таблица 1

Опыты при 16—17° в основной массе зерна

№	Влага зерна в % влажного материала			Степень охлаждения в °С	Продолжительность опыта в сутках	Состояние зерна в охлаждаемом участке
	Начальная всего зерна	Конечная				
		охлажденного участка	основной массы			
1	9.1	10.3	9.0	8	30	Без изменения
2	13.9	14.8	—	5	33	» »
3	14.7	18.0; 22.3	—	7	66	» »
4	15.1	15.4	—	1—2	31	» »
	15.1	16.8	—	4, 5	+39	» »
5	15.1	16.3	—	3	31	» »
	15.1	18.2	—	6	+42	» »
6	15.3	16.5	—	7	50	» »
7	18.8	30.4; 68.3	17.9	7	29	Прорастание, плесень
8	20.1	25.0	19.5	7	13	Плесень
	20.1	22.6	—	5	+30	»
9	20.5	23.1	—	6, 5	14	»
	20.5	22.8	—	5	+13	»
10	20.4	24.5	—	8	26	»
	20.4	20	—	0	+53	»

Из всех произведенных опытов следует факт отдачи воды зерном в участки зерна с пониженной температурой. Эта отдача происходит и в случае малой разницы в температуре, как показывают особенно опыты 4 и 5, где

Таблица 2

Опыты при 23°.5, 26° (\*) и 28° (\*\*) в основной массе зерна

№	Влага зерна в % влажного материала			Степень охлаждения в °С	Продолжительность опыта в сутках	Состояние зерна в охлажденном участке
	Начальная всего зерна	Конечная				
		охлажденного участка	основной массы			
11	8.2	8.9	8.2	13	33	Без изменения
12	9.5	11.7	9.5	15.5	22	» »
13	* 9.8	13.6	—	12	73	» »
14	* 9.8	16.4; 36.2	—	20	+14	Прорастание, плесень
	13.1	16.7; 42.8	12.3	16	18	» »
	13.1	18.8	—	16	+7	» »
15	13.1	29.0; 64.7	—	16	+18	» »
	*14.6	22.9	13.8	14	33	» »
						(фотография)
16	16.0	18.5	16.2	100; 60 (60 дней без охл. **)	81	Плесень, частично распространенная и на остальное зерно
17	19.1	28.1; 35.9	—	16	11	Прорастание, плесень, бактерии, слизь
	19.1	79.1	13.2	16	+39	Длинные проростки, склеенная, слизистая масса бактерий и плесеней
	*19.1	15.2	—	0	+28	Высохшая склеенная масса

разница температуры составляла в известное время лишь 1—3°. Приходится удивляться необычайной отзывчивости зерна. Нужно думать, что в условиях хранения, а особенно перевозки зерна даже в самых идеальных условиях, подобного рода перемещения влаги совершенно неизбежны.

Перемещение влаги при наличии разницы температуры в разных участках зерна можно было констатировать даже при очень низком содержании воды в зерне, и мы еще не дошли в понижении влаги в зерне до того предела, когда это перемещение влаги уже не происходит. В этом отношении особенно характерны опыты 1 и 11 с низкой влажностью зерна, где при умеренной температуре и при относительно небольшом охлаждении участка этого зерна произошла передача в этот участок вполне заметных и хорошо учитываемых количеств воды.

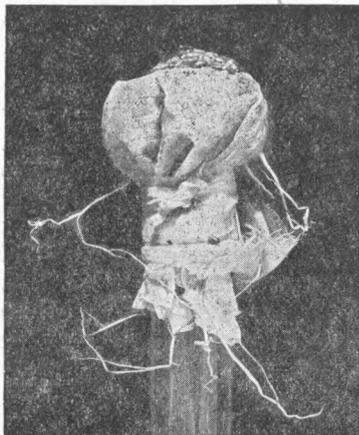
Опыте 13, в котором сначала происходила только передача или, точнее говоря, перегонка воды без повреждения зерна, создание большей разницы температур путем несколько более сильного охлаждения очень скоро создало условия, при которых наступила порча зерна.

Этим опытом впервые была показана возможность порчи зерна очень низкой влажности, классифицируемого как очень сухое (9.8% влаги). Единственным фактором этой порчи было нарушение температурного равенства в массе хранящегося зерна и создание таким образом условий для перегонки воды от одной части зерна к другой. Возможность перегонки влаги в нужном для порчи зерна размере при таком низком содержании влаги в зерне не может не обратить на себя самое большое внимание и в теоретическом, и в практическом отношении.

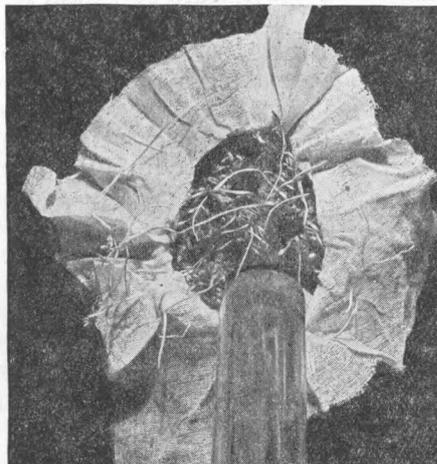
После этого уже не могут поразить такие же результаты по порче зерна большей влажности—13.1 и 14.6%, где достаточно было уже меньшей разницы в температурах. Результаты опыта 15 по порче зерна сняты на фотографии (фиг. 1 и 2), где хорошо заметно прорастание большого количества зерен в длинные этиолированные ростки.

Опыты с повышенной против нормы влажностью в пределах между 16 и 20,5% (№ 7, 8, 9, 10, 16, 17) показали возможность порчи зерна созданием «очагов» путем значительно меньших разниц в температурах отдельных участков зерна.

Большое значение для порчи имела продолжительность сохранения зерна без проветривания, которое наступало при осмотре, когда зерно высыпалось из сосуда и развязывался мешочек. Этим объясняется более эффективный результат опыта 7 сравнительно с опытами 8, 9, 10, так как в отличие от последних в первом зерно не трогалось в течение всего опыта.



Фиг. 1. Общий вид вынутого охлаждавшегося мешочка с зерном. Вышедшие наружу проростки. Снизу прилипло склеившееся заплесневелое зерно



Фиг. 2. Внутренний вид мешочка без удаления холодильничка из него. Полу-склеенная масса зерна с проростками отдельных зерен

В подопытном зерне должны были установиться градиенты влажности по радиусам вокруг центра—холодильничка. Степень различия в содержании влаги хорошо демонстрируется в опыте 3, где изменение содержания воды проявилось только в виде несколько большего объема зерна.

Значение разницы температур наглядно проявляется, когда после наступления известного равновесия в распределении влаги изменением разницы температур вызывается наступление нового равновесия. Это хорошо видно из опыта 4, где при увеличении разницы температур всего на несколько градусов влага охлаждаемого участка повысилась за счет остального зерна на 1,4%. Такое же явление повторяется и в опыте 5. Обратное явление от уменьшения разницы в температуре мы имеем в опытах 8, 9, 10, (табл. 1), где ясно наблюдается не только сближение (опыты 8, 9), но и полное выравнивание содержания влаги (опыт 10). В упомянутом уже опыте 13 увеличение разницы температуры путем большего охлаждения опытного участка зерна привело в 2 недели к полной порче в месте охлаждения зерно, бывшее до того в течение около 2,5 месяца совершенно нормальным. Наоборот, в опыте 17 с уничтожением созданного путем охлаждения очага большей влажности и порчи (температура везде была уравнена) очаг был локализован и остался в массе здорового зерна в виде высохшего, склеенного комка совершенно испорченного зерна.

При сохранении константной разницы температур окружающего и охлаждаемого участка зерна идет постоянный прирост влаги, не обнаруживающий того предела, к которому стремится система, из-за наступления прорастания, благодаря оседанию капельно-жидкой воды.

От получающихся в результате неравномерной температуры в массе хранящихся зернопродуктов очагов большей влажности, в которых появляется порча в виде плесени (в первую очередь), порча может распространиться и на другое зерно. В опыте 16 в зерне был создан очаг путем временного местного охлаждения. После этого зерно было представлено самому себе. В результате зерно в местах охлаждения оказалось сильно заплесневевшим, но из очагов охлаждения плесень в некотором количестве проникла и в другие части.

Нужно думать, что прорастание зерна, найденное в ряде случаев, произошло в результате оседания капельно-жидкой воды на охлажденном зерне и на холодильничке, с которого она должна была по капиллярным путям перейти также на зерно, непосредственно не прилегавшее к нему. Последнее вытекало из факта прорастания зерна не только в слое, непосредственно прилегавшем к холодильничку, но и из неравномерного распределения проросших зерен между другими, разбухшими в самой различной степени (см. опыты 13, 14 и 17). Такая капиллярная передача воды была не менее вероятна, чем медленное оседание росы на самом зерне, которое должно было быстро всасывать воду по мере ее оседания.

К той воде, которая перегоняется от более теплого зерна к более холодному и увеличивает содержание воды в последнем, притом либо в парообразном состоянии, либо после предварительной конденсации, присоединяется еще и та вода, которая берет свое начало от дыхательного процесса самого достаточно увлажненного зерна. Эта вода имеет далеко не маловажное значение при создании очагов самосогревания зерна. Определения потери сухого веса зерна совершенно ясно свидетельствуют о значении этой воды. При потерях сухого веса в одних опытах в 4—5%, в опыте 17 потеря в весе уже достигла цифры 22%, что по расчету соответствует 8,8% дыхательной воды при расчете на сухое зерно.

Приведенные данные должны представлять практический интерес для складского зернового хозяйства и предупредить его о возможности порчи зерна, наиболее доброкачественного в отношении содержания влаги, если только при хранении одновременно не будет обращено внимание и на создание таких условий, которые обеспечили бы возможно более ровную температуру во всей массе хранящегося зерна. Каждой ступени влажности сыпавшего в хранилища зерна должна соответствовать и определенная температурная разностная норма, т. е. еще допустимая и безопасная предельная разница температур в разных участках зерна. За пределами этой нормы в местах охлаждения должно накопиться в зерне такое количество воды, что это неминуемо приведет к созданию столь опасных для сохранности зерна очагов самосогревания и самовозгорания. Норма эта не может быть универсальной для всех случаев хранения, так как должна учитываться и та температура, которую имеет само зерно. Чем температура выше, тем, естественно, разностная температурная норма должна быть меньше.

Получение этих норм, устанавливающих допустимую и недопустимую разницу температур в элеваторе при хранении в нем зерна различной влажности, установление соотношений между допустимой разницей температур в различных участках зерна и его влажностью и, наоборот, соотношения между допустимой влажностью сыпавшего в элеваторы зерна и имеющимися в нем колебаниями температуры должны составить предмет дальнейшего нашего изыскания уже не ориентировочного, а систематического характера.