

**УДК 544.54**

## **РАДИОЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВО ВЛАЖНЫХ ЗЕРНАХ КУКУРУЗЫ, ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ**

*Мамедов Х.Ф.*

*Институт Радиационных Проблем Национальной Академии Наук, Азербайджан  
E-mail: xagani06@mail.ru*

Изучены кинетические закономерности радиолиза микотоксинов в водных растворах, в сухих и во влажных семенах кукурузы, пшеницы и ячменя. Определены радиационно-химические выходы реакции разложения микотоксинов в этих системах. Выяснено, что скорость радиолитической деструкции микотоксинов увеличивается по мере увеличения влажности зерен. Предложены механизмы радиолитической деструкции микотоксинов в водных растворах и в зернах.

**Ключевые слова:** радиолитическая деструкция микотоксинов, зеараленон, охратоксин, афлатоксин.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Микроскопические грибки продуцируют в растениях и их плодах микотоксины. Микотоксины являются вторичными метаболитами микроскопических плесневых грибов, обладающие сильными токсическими свойствами. Микотоксины часто обнаруживаются в растительных продуктах. Поражение их микроскопическими грибами происходит в период созревания, уборки урожая, при неблагоприятных метеорологических условиях и неправильном хранении. Прозимовавшие в поле под снегом, сохраненные без предварительной сушки или в непроветриваемых, влажных помещениях и пораженные микроскопическими грибами зерна, как правило, загрязняются микотоксинами. Загрязненные микотоксинами зерна приводят к возникновению токсикозов у животных и людей [1–3].

Выделено более 300 микотоксинов, продуцируемых 350 видами грибов. Однако практическое значение как загрязнители пищевых продуктов имеют около 20 микотоксинов. К этим наиболее распространенным и опасным группам микотоксинов относятся афлатоксины, продуцируемые грибками рода *Aspergillus*, трихотеценовые микотоксины, зеараленон и его производные, продуцируемые грибками рода *Fusarium*, охратоксины, продуцируемые грибками родов *Aspergillus* и *Penicillium*, патулин, лютеоскирин, циклохлоротин, цитреовиридин и цитринин, продуцируемые грибками рода *Penicillium*. Эти микотоксины являются бесцветными, белыми или желтыми кристаллическими, химически стабильными веществами [1, 4, 5].

Облучение ионизирующим излучением широко применяется для стерилизации, дезинфекции и дезинсекции плодов и семян сельскохозяйственных растений, а также для увеличения срока хранения овощей и кормов [6]. Микотоксины

устойчивы к действию физических и химических факторов. Поэтому разрушение их в пищевых продуктах представляет трудную задачу. Традиционные методы технологической и кулинарной термической обработки лишь частично уменьшают содержание микотоксинов в продукте [1, 7–10].

В данной работе изучены закономерности радиолитической деструкции микотоксинов во влажных зернах растений. В качестве вспомогательных систем для определения радиационно-химического выхода разложения микотоксинов в зернах были использованы водные растворы с аналогичными концентрациями микотоксинов. Предложены механизмы деструкции микотоксинов в водных растворах, во влажных и сухих зернах кукурузы, пшеницы и ячменя.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Качественное и количественное определение исходных и конечных компонентов в облучаемых водных растворах микотоксинов и анализ сложнокислых спиртовых экстрактов, загрязненных микотоксинами зерен проводили с использованием ЖХ, ГХ, МС, ЖХ-МС, ИФА (LC-10AVP, GCMS-QP 2010, GC-2010 системы фирмы Шимадзу, ИФА-анализаторы фирм R-Biopharm и Teknopol) [11-13].

Определения видов и числа микроорганизмов в зараженных зернах проводили с использованием различных селективных питательных сред фирм Hi-media (Индия) и Condalab (Испания), системы RABIT (Англия), счетчиков колоний.

Мощность дозы ионизирующего излучения от источника  $^{60}\text{Co}$  радиационно-химической установки К-25 составляла 0,33 Гр/с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучена кинетика радиолитического разложения афлатоксина и зеараленона, продуцируемых соответственно микроскопическими грибами родов *Aspergillus* и *Fusarium* в кукурузных зернах, охратоксина, продуцируемого грибами рода *Aspergillus* в пшеничных зернах, и зеараленона, продуцируемого грибами рода *Fusarium* в зернах ячменя.

Облучение гамма-излучением  $^{60}\text{Co}$  зерен, пораженных микроскопическими грибами и зараженных соответствующими микотоксинами, показали, что поглощенные дозы ионизирующего излучения 10 кГр обеспечивают полную стерилизацию зерен, что приводит к гибели практически всех микроорганизмов в зараженных растительных продуктах [6, 14].

Для изучения кинетики разложения микотоксинов в зернах и в водных растворах были исследованы 3 партии сухих и увлажненных образцов зараженных зерен. Сухая партия зерен имели минимальную остаточную влажность 4%, остальные же две партии этих продуктов имели влажность 20% и 26%, соответственно. Эти 3 партии зерен, загрязненных микотоксинами, а также водные растворы этих микотоксинов, подвергались облучению ионизирующим излучением от источника  $^{60}\text{Co}$  дозами 1 кГр, 2,5 кГр, 10 кГр и 25 кГр. Изучены кинетика разложения микотоксинов в водных растворах, а также в сухих и увлажненных (20%, 26%) зернах.

На рис. 1 и 2 показаны кинетические кривые разложения соответственно афлатоксина и зеараленона в водном растворе и кукурузных зернах с различной влажностью (4% и 26%), на рис. 3 показаны кинетические кривые разложения охратоксина в водном растворе и пшеничных зернах с различной влажностью (4%, 20% и 26%) и на рис. 4 показаны кинетические кривые разложения зеараленона в водном растворе и зернах ячменя с различной влажностью (4% и 26%).

Облучение дозой ионизирующего излучения 10 кГр обеспечивает полное разложение микотоксинов в водных растворах. Полное разложение при изучаемых концентрациях микотоксинов в зернах, с влажностью 20–26%, достигается при поглощенных дозах 20–25 кГр. Однако, поглощенная доза ионизирующего излучения, равная 25 кГр, снижает большие концентрации микотоксинов в сухих зернах (200-300 мкг/кг) только на 65–75%.

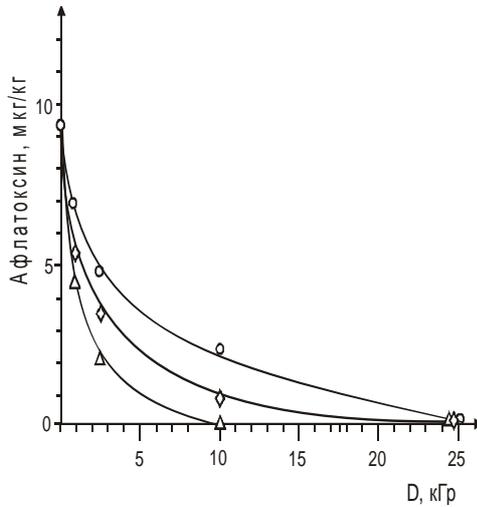


Рис. 1. Зависимость концентрации афлатоксина от дозы ионизирующего излучения, поглощенной загрязненными кукурузными зернами, а также водным раствором афлатоксина.  
 ○ - концентрация афлатоксина в сухих зернах (влажность 4%);  
 ◇ - концентрация афлатоксина во влажных зернах (26%);  
 △ - концентрация афлатоксина в водном растворе;

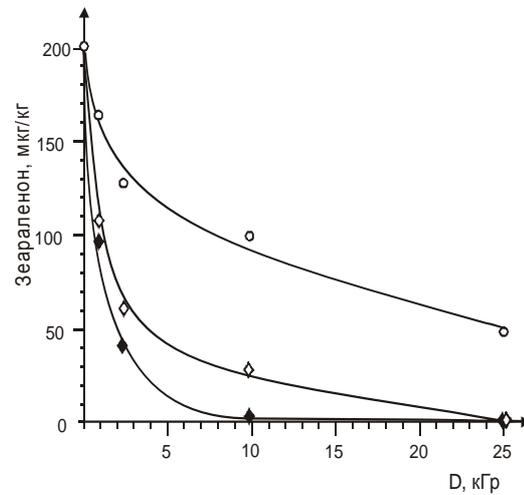


Рис. 2. Зависимость концентрации зеараленона от дозы ионизирующего излучения, поглощенной загрязненными кукурузными зернами, а также водным раствором зеараленона.  
 ○ - концентрация зеараленона в сухих зернах (влажность 4%);  
 ◇ - концентрация зеараленона во влажных зернах (26%);  
 ◆ - концентрация зеараленона в водном растворе.

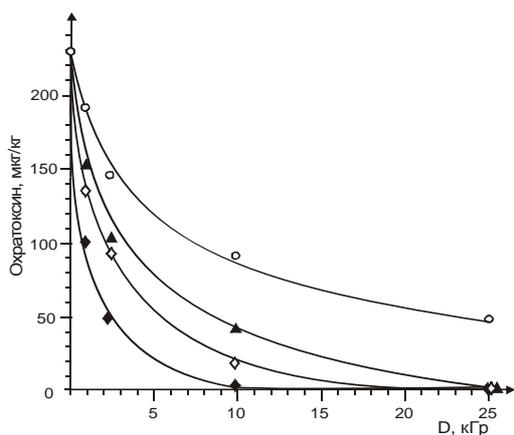


Рис. 3. Зависимость концентрации охратоксина от дозы, поглощенной загрязненными пшеничными зернами, а также водным раствором охратоксина.  
 ○ - концентрация охратоксина в сухих зернах (влажность 4%);  
 ▲ - концентрация охратоксина во влажных зернах (20%);  
 ◇ - концентрация охратоксина во влажных зернах (26%);  
 ◆ - концентрация охратоксина в водном растворе;

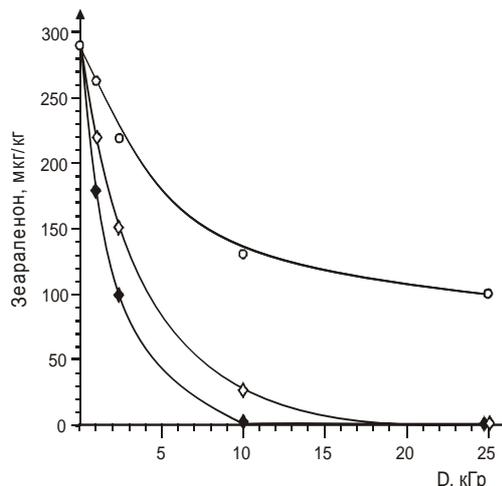


Рис. 4. Зависимость концентрации зеараленона от дозы ионизирующего излучения, поглощенной загрязненными зернами ячменя, а также водным раствором зеараленона.  
 ○ - концентрация зеараленона в сухих зернах (влажность 4%);  
 ◇ - концентрация зеараленона во влажных зернах (26%);  
 ◆ - концентрация зеараленона в водном растворе.

Ниже приведена оценка значений радиационно-химических выходов разложения афлатоксина и зеараленона в кукурузных зернах и в водном растворе, охратоксина в пшеничных зернах и в водном растворе, а также зеараленона в зернах ячменя и в водном растворе:

- поглощенная доза ионизирующего излучения равная 1 кГр эквивалентна  $6,241 \times 10^{21}$  эВ/кг;

- за время поглощения этой дозы (3000 сек.) концентрация афлатоксина (зеараленона) уменьшается на 2 (30) мкг/кг, 4 (90) мкг/кг и 5 (100) мкг/л соответственно, в сухих и влажных (26%) зернах кукурузы, и в водном растворе, что соответствует разложению  $3,7 \times 10^{15}$  ( $5,7 \times 10^{16}$ ),  $7,4 \times 10^{15}$  ( $17,1 \times 10^{16}$ ),  $9,3 \times 10^{15}$  ( $19,0 \times 10^{16}$ ) молекул афлатоксина (зеараленона) в 1 кг массы сухих, влажных (26%) кукурузных зерен и в 1 л водном растворе (относительная средняя молекулярная масса афлатоксина и зеараленона равны соответственно 325 и 316 г/моль);

- из вышеуказанных значений легко получить значения разложенных молекул афлатоксина и зеараленона при поглощении системами 100 эВ энергии ионизирующего излучения. Эти значения равны соответственно  $3,7 \times 10^{15}$  молек/кг ( $5,7 \times 10^{16}$ )  $\times 100$  эВ/ $6,241 \times 10^{21}$  эВ/кг =  $0,6 \times 10^{-4}$  ( $0,9 \times 10^{-3}$ ) молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения афлатоксина (зеараленона) в сухих зернах кукурузы/,  $1,2 \times 10^{-4}$  ( $2,7 \times 10^{-3}$ ) молек/100эВ,  $1,5 \times 10^{-4}$  ( $3,1 \times 10^{-3}$ ) молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения афлатоксина (зеараленона) в кукурузных зерна, с влажностью 26% и в водном растворе;

- за время поглощения 1 кГр дозы (3000 сек.) концентрация охратоксина уменьшается на 40 мкг/кг, 80 мкг/кг, 95 мкг/кг и 130 мкг/л соответственно, в сухих, влажных (20% и 26%) пшеничных зернах и в водном растворе, что соответствует разложению  $0,6 \times 10^{17}$ ,  $1,2 \times 10^{17}$ ,  $1,4 \times 10^{17}$  и  $2,0 \times 10^{17}$  молекул охратоксина в 1 кг массы сухих и влажных (20% и 26%) пшеничных зерен, и в 1 л водного раствора (относительная средняя молекулярная масса охратоксина равна 400 г/моль);

- из вышеуказанных значений можно вычислить значения разложенных молекул охратоксина при поглощении системами 100 эВ энергии ионизирующего излучения. Эти значения равны соответственно,  $0,6 \times 10^{17}$  молек/кг  $\times 100$  эВ/ $6,241 \times 10^{21}$  эВ/кг =  $0,96 \times 10^{-3}$  молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения охратоксина в сухих пшеничных зернах/,  $1,9 \times 10^{-3}$  молек/100эВ,  $2,2 \times 10^{-3}$  молек/100эВ,  $3,2 \times 10^{-3}$  молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения охратоксина в пшеничных зернах, с влажностью 20% и 26% соответственно, и в водном растворе/.

- за время поглощения 1 кГр дозы (3000 сек.) концентрация зеараленона уменьшается на 25 мкг/кг, 70 мкг/кг и 110 мкг/л соответственно, в сухих, влажных (26%) зернах ячменя и в водном растворе, что соответствует разложению  $0,5 \times 10^{17}$ ,  $1,3 \times 10^{17}$  и  $2,1 \times 10^{17}$  молекул зеараленона в 1 кг массы сухих и влажных (26%) зерен ячменя, и в 1 л водного раствора;

- из вышеуказанных значений можно вычислить значения разложенных молекул зеараленона при поглощении системами 100 эВ энергии ионизирующего излучения. Эти значения равны соответственно,  $0,5 \times 10^{17}$  молек/кг  $\times 100$  эВ/ $6,241 \times 10^{21}$  эВ/кг =  $0,8 \times 10^{-3}$  молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения зеараленона в сухих зернах ячменя/,  $2,1 \times 10^{-3}$  молек/100эВ,  $3,4 \times 10^{-3}$  молек/100эВ /значение радиационно-химического выхода разложения зеараленона в зернах ячменя с влажностью 26%, и в водном растворе/.

Из полученных значений видно, что с увеличением влажности зерен повышаются значения радиационно-химического выхода разложения микотоксинов. Значения радиационно-химического выхода разложения микотоксинов в водных растворах приблизительно в 2,5-4,2 раза превышает значение радиационно-химического выхода разложения этих микотоксинов в сухих зернах.

В табл. 1 показаны радиационно-химические выходы разложения микотоксинов в водном растворе и в зернах с различной влажностью.

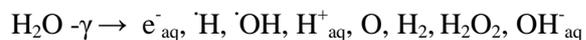
**Таблица 1**  
**Радиационно-химические выходы разложения микотоксинов в водных растворах и в зернах с различной влажностью**

Влажность кукурузных зерен, загрязненных афлатоксином (9 мкг/кг)	4%	20%	26%	100% (водный раствор афлатоксина, 9 мкг/кг).
Радиационно-химический выход деструкции афлатоксина, (молек./100 эВ)	$0,6 \cdot 10^{-4}$	-	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Влажность кукурузных зерен, загрязненных зеараленоном (200 мкг/кг)	4%	20%	26%	100% (водный раствор зеараленона, 200 мкг/кг)
Радиационно-химический выход деструкции зеараленона, (молек./100 эВ)	$0,9 \cdot 10^{-3}$	-	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Влажность пшеничных зерен, загрязненных охратоксином (230 мкг/кг)	4%	20%	26%	100% (водный раствор охратоксина, 230 мкг/кг).
Радиационно-химический выход деструкции охратоксина, (молек./100 эВ)	$0,96 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Влажность зерен ячменя, загрязненных зеараленоном (290 мкг/кг)	4%	20%	26%	100% (водный раствор зеараленона, 290 мкг/кг)
Радиационно-химический выход деструкции зеараленона, (молек./100 эВ)	$0,8 \cdot 10^{-3}$	-	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$

Для обсуждения и обоснования полученных результатов, необходимо пересмотреть все элементарные реакции и радиолитические процессы, протекающие при радиоллизе воды и углеводов. При физической стадии

радиолиза воды и углеводов ( $10^{-16}$ – $10^{-15}$  сек.) происходит образование ионов и электронов, возбужденных и сверхвозбужденных молекул, возбужденных ионов, а также ансамблей сверхвозбужденных молекул (плазмонов). В результате многократных столкновений с молекулами среды (воды или углеводов) образовавшиеся быстрые электроны при замедлении становятся тепловыми, в соответствующих средах гидратированными или сольватированными [15]. При физико-химической стадии радиолиза воды и углеводов ( $10^{-14}$ – $10^{-10}$  сек.) происходит диссоциация возбужденных и сверхвозбужденных молекул, их автоионизация и ион-молекулярные реакции.

В химической стадии радиолиза воды и углеводов (при временах  $10^{-10}$  и выше) протекают реакции ионов, электронов, свободных радикалов, образовавшихся в шпорах, блобах и коротких треках, а также реакции этих частиц с молекулами среды. В этой стадии (при временах  $10^{-7}$  сек.) происходит выравнивание концентрации продуктов радиолиза по всему объему. После завершения реакций в шпорах в воде, помимо ионов, свободно-радикальных продуктов воды (электронов, атомов и радикалов), наблюдаются также молекулярные продукты (молекулярный водород и перекись водорода). Поэтому, радиолиз воды выражают следующим уравнением [15]:



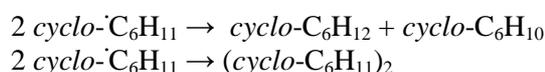
Основным первичным процессом взаимодействия ионизирующего излучения с углеводородами является ионизация. После ряда столкновений с молекулами среды быстрые электроны при замедлении захватываются молекулами воды, имеющихся в виде влаги, отдельных кластеров во всех растительных продуктах, то есть становятся гидратированными ( $e^- \rightarrow e^-_{\text{aq}}$ ). Иногда электроны в процессе торможения не успевают уйти из сферы действия кулоновского поля ионов и в результате электронно-ионной рекомбинации возникают возбужденные молекулы. Возбужденные и сверхвозбужденные молекулы образуются и при взаимодействии ионизирующего излучения с углеводородами и с водой. Для сверхвозбужденных молекул характерны реакции автоионизации и диссоциации. Диссоциация сверхвозбужденных молекул протекает как с образованием радикалов, так и с образованием сравнительно малых молекул насыщенных и ненасыщенных углеводородов. В случае алкенов и циклоалканов распад возбужденных молекул происходит по каналам образования пар: радикал и атом водорода, молекулярный водород и алкен, алкан и алкен, а также двух радикалов. Для ароматических углеводородов эти процессы менее характерны. Для разветвленных углеводородов возможны распад возбужденного иона на вторичные (осколочные) ионы. Эти вторичные ионы могут принимать участие в процессах парной нейтрализации, наряду с первичными ионами [15, 16].

При облучении нормальных алканов радикалы возникают в основном в результате разрыва связей C–H с образованием атомов водорода и радикалов. Атомы водорода присоединяются к олефинам, образуя алкильные радикалы.

Тепловые и «горячие» атомы водорода могут реагировать с исходными молекулами с отщеплением H, присоединяться к их бензольным кольцам и двойным связям, присоединяться к растворенному кислороду или же димеризоваться, образуя молекулярный водород.

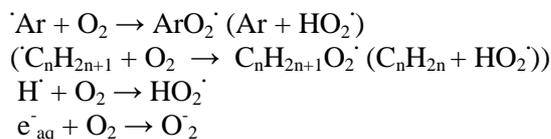
При облучении разветвленных углеводородов разрыв C–C связей становится более существенным, в результате чего образуются различные алкильные радикалы. Радиационно-химический выход образования свободных радикалов при радиоллизе алканов в зависимости от молекулярной массы меняется в пределах 0,27–5,70. Алкенильные радикалы могут вступать в реакцию рекомбинации или реагировать с алкильными радикалами. Алкильные радикалы в свою очередь могут присоединяться к двойным связям, димеризоваться или вступать в реакцию диспропорционирования [15, 16].

Наиболее распространенными реакциями алкильных и циклоалкильных радикалов являются диспропорционирование и димеризация. Например, для циклогексильных радикалов характерны реакции образования циклогексана, циклогексена, а также дициклогексила:

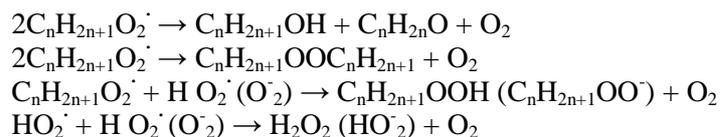


Другой реакцией алкильных радикалов является взаимодействие с растворенным кислородом.

В изучаемых нами реальных системах – в водных растворах, в остаточной влаге растительных продуктов всегда присутствует определенное количество растворенного кислорода, которое вступает в реакции с алкильными радикалами, с атомами водорода и гидратированными электронами [15, 16]:

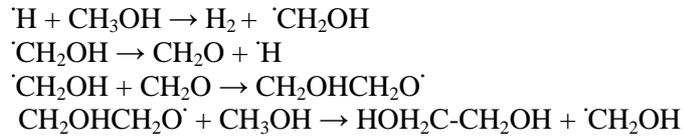


Образованные в этих реакциях радикалы взаимодействуют между собой:



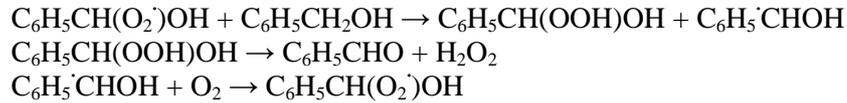
В естественных условиях из-за присутствия растворенного кислорода в воде или во влажной структуре растительных продуктов и присутствия в молекулах микотоксинов гидроксильных групп, механизм радиолиза микотоксинов в водных растворах и во влажных продуктах растениеводства подобен радиолизу спиртов в присутствии растворенного кислорода. Продукты этих процессов также относятся к идентичным классам органических веществ.

При радиоллизе спиртов, не содержащих молекулярный кислород, образуются гликоли, эфиры, альдегиды, водород и моноокись углерода, алканы, вода. Процесс образования этиленгликоля из метанола описывается реакциями:



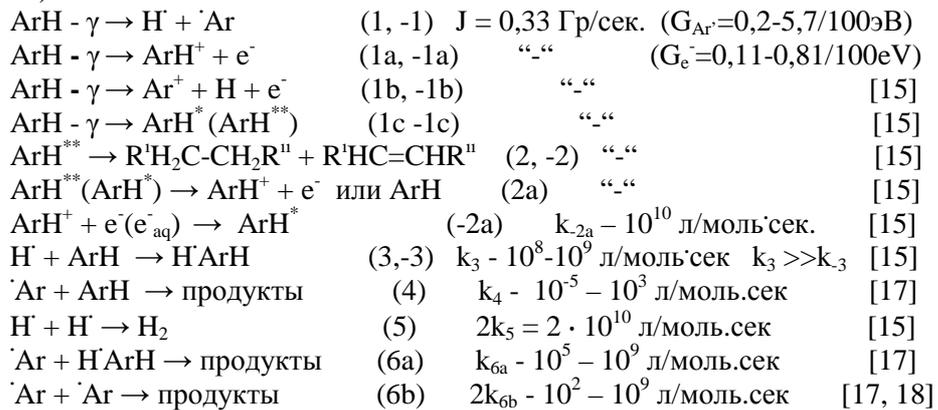
В присутствии кислорода димеризация и диспропорционирование гидроксильных радикалов спиртов подавляются и гликоли не образуются. Уменьшается образование водорода и осколочных углеводородов. В реакциях же перекисных радикалов,  $\text{HO} \cdot_2$ ,  $\text{O} \cdot_2$  образуются карбонильные соединения (альдегиды, эфиры), кислоты, перекись водорода, органические перекиси, являющимися продуктами окисления.

Суммарный выход продуктов окисления при радиоллизе бензилового спирта в присутствии кислорода, достигает 50 молек./100эВ. Цепной процесс протекает за счет реакций [15, 16]:



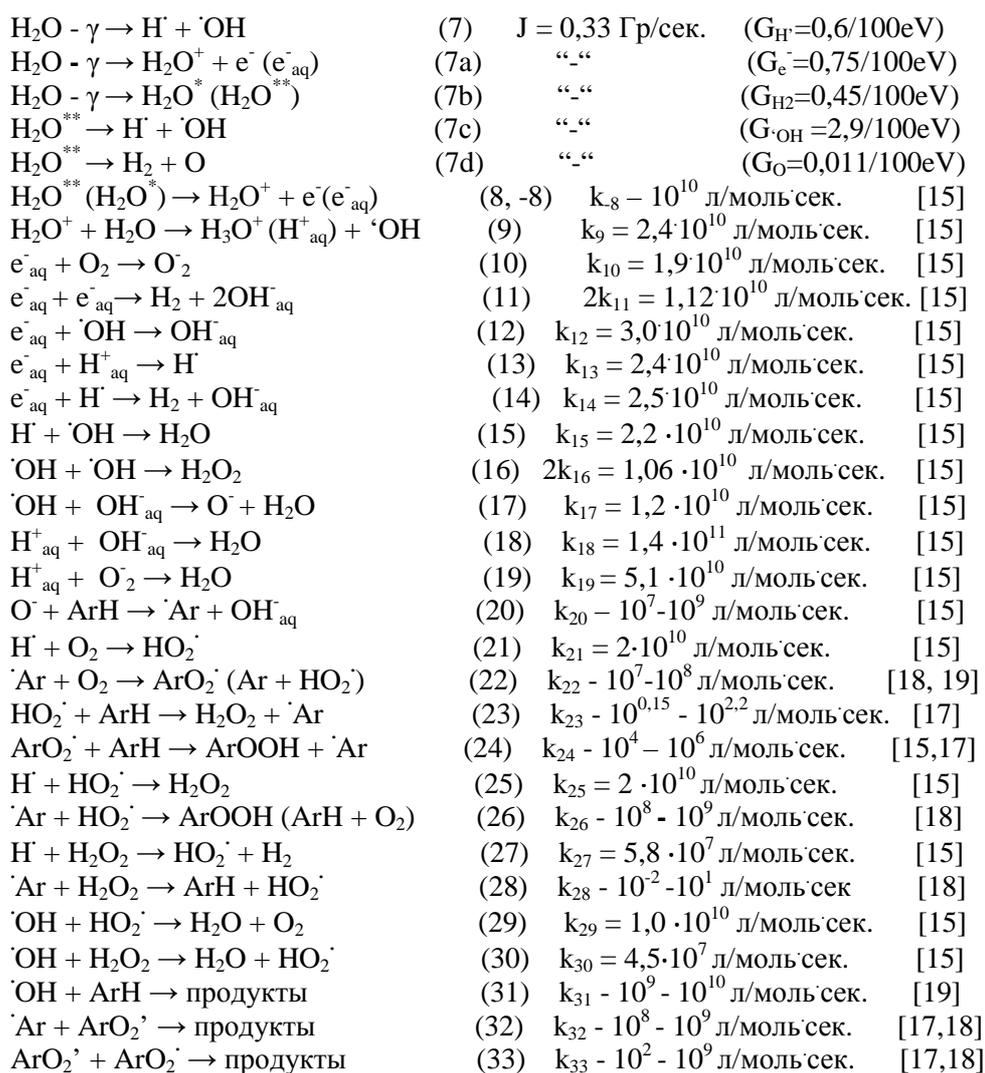
Продуктами радиоллиза пропанола-1 в присутствии кислорода, являются формальдегид, пропионовый альдегид, этилен, водород и пропионовая кислота. Суммарный выход этих продуктов окисления составляет 20 молек./100 эВ [16].

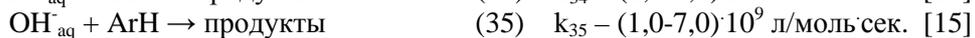
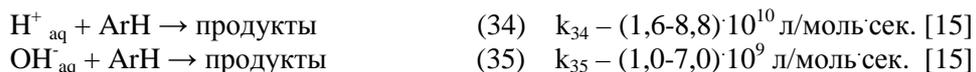
С учетом термодинамических характеристик и кинетических закономерностей реакций, протекающих между макрорадикалами микотоксинов, а также реакций атомов водорода с молекулами микотоксинов, их радиоллиз можно представить системой нижеуказанных элементарных стадий (Mt или ArH – микотоксины, J – мощность поглощенной в облучаемых объектах дозы – 0,33 Гр/сек.):



Низкие значения степеней и скоростей деструкции микотоксинов в сухих зернах по сравнению с этими значениями для водных растворов микотоксинов объясняются низким значением константы скорости реакции 4 и низкими скоростями реакций ба и бб, имеющих низкие концентрации реакционных компонентов.

Процесс радиолитического распада водных растворов микотоксинов является более сложным и многоступенчатым процессом. При радиолитическом расходе этих растворов, помимо образования ион-электронных пар и разрыва связей Н-Р, Р-Р природных микотоксинов, то есть помимо вышеуказанного механизма, молекулы воды также разлагаются на электронно-ионные пары, на атомы водорода, кислорода, гидроксильные группы, а также протекают реакции этих частиц с растворенным кислородом:





При радиолитическом разложении полностью высушенных зерен протекают реакции 1–6. Как видно из этого механизма, деструкция микотоксинов в сухих зернах пропорциональна поглощенной в зернах дозе ионизирующего излучения. Разложение микотоксинов при радиолитическом разложении сухих зерен определяется реакциями соединения и диспропорционирования 3, 4, 6а и 6б. Согласно литературным данным [15, 16], основными каналами протекания реакций 6а и 6б являются реакции диспропорционирования, то есть распад молекул микотоксинов, являющихся полициклическими ненасыщенными органическими соединениями.

Механизм процесса радиолитического разложения микотоксинов в водных растворах состоит из системы элементарных реакций 1–35. С учетом значений констант скоростей и концентраций компонентов реакций, можно выяснить, что элементарные реакции 25–30 играют незначительную роль в начальных стадиях протекания общего процесса. Из механизма радиолитического разложения водных растворов микотоксинов ясно видно, что деструкция микотоксинов определяется в основном реакциями электронов и ионов, а также атомов и радикалов, образованных при радиолитическом разложении молекул углеводов, микотоксинов и воды, а также их реакциями с растворенным кислородом. Поэтому радиолитическое разложение водных растворов микотоксинов характеризуется более высокой скоростью и радиационно-химическим выходом по сравнению с их радиолитической деструкцией в сухих зернах. Деструкция микотоксинов в водных растворах определяется реакциями 3, 4, 6а, 6б, 21–24, 31–35. По ходу протекания реакций 6а, 6б, 32 и 33, помимо димеризации, существенную роль играют и каналы диспропорционирования [15]. Реакции 24 и 26 сопровождаются образованием органических кислот, в реакциях же 32 и 33 образуются альдегиды и сложные эфиры.

В растительных продуктах, зернах и фруктах, содержащих водные кластеры и определенное количество влаги, процесс радиолитического разложения микотоксинов регулируется реакциями обоих вышеуказанных механизмов.

Этот вывод подтверждается тем, что при всех экспериментах радиационно-химические выходы радиолитической деструкции микотоксинов в водных растворах на 2–4 раза выше, чем в реальных системах. Фактически всегда из-за присутствия в зернах определенной остаточной влаги или же из-за большой увлажненности зерен, сохраненных во влажных условиях, процессы радиолитической стерилизации и детоксикации регулируются элементарными реакциями обоих вышеуказанных механизмов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В проведенных экспериментах по радиолитической деструкции микотоксинов в высушенных зернах наблюдается выделение в незначительных количествах легких углеводов, спиртов и водорода.

2. При облучении водных растворов микотоксинов, а также влажных растительных продуктов, загрязненных микотоксинами наблюдается образование в следовых количествах гидропероксидов, неканцерогенных жирных кислот, их сложных эфиров и альдегидов, что согласуется с предложенным механизмом радиолитического разложения.
3. Наблюдаемые небольшие значения выходов реакций радиационно-химического разложения микотоксинов, вполне достаточны для обеспечения детоксикации зерен, загрязненных микотоксинами, и снижения концентрации этих микотоксинов до значений ниже ПДК.
4. Радиолитический метод детоксикации по достигнутой высокой степени деструкции микотоксинов превосходит все традиционные методы детоксикации.

#### Список литературы

1. Пищевая химия. / [А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др.]. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2007. – 635 с.
2. О причинах массовых микотоксикозов животных / А.В. Иванов, М.Я. Трemasов, К.Х. Папуниди [и др.] // Иммунопатология, Аллергология, Инфектология. – 2010. – № 1. – С. 192–196.
3. Монастырский О.А. Современное состояние и проблемы исследования токсикогенных грибов, поражающих злаковые культуры / О.А. Монастырский // Актуальные вопросы биологизации защиты растений. – Пущино: ВНИИБЗР, 2000. – С. 79–89.
4. Биохимические и токсикологические особенности микотоксинов, продуцируемых грибами-патогенами озимой пшеницы / Г.В. Грушко, С.Н. Линченко, В.В. Хан // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 8. – С.74–78.
5. Кравченко Л.В. Микотоксины как природные контаминанты пищевых продуктов и кормов / Л.В. Кравченко. – М.: Медицина, 1985. – С.7–28.
6. IAEA-TECDOC-1337. Radiation processing for safe, shelf-stable and ready-to-eat food: proceedings of a final research coordination meeting held in Montreal, Canada, 10–14 July 2000. Printed by the IAEA in Austria.–2003. – 37 p.
7. Афанасьев В.А. Научно-практические основы тепловой обработки зерновых компонентов и технологии комбикормов: Дисс. д.т.н. / В.А. Афанасьев. – Московский государственный университет пищевых продуктов. – М. – 2003. – 517 с.
8. Использование биопрепаратов для обезвреживания кормов от микотоксинов / Е.Н. Иванов, Л.Е. Матросова, И.М. Еремеев, Ю.М. Трemasов // Иммунопатология, Аллергология, Инфектология. – 2010. - №1. – С. 193-195.
9. Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecene mycotoxins in human and animal food chains: a review / J. He, T. Zhou, J.C.Young, G.J. Boland / Trends in food science and technology – 2010. – Vol. 21, № 2. – P.67–71.
10. Duarte S.C. A review on ochratoxin a occurrence and effects of processing of cereal and cereal derived food products/ S.C. Duarte, A. Pena, C.M. Lino // Food Microbiology. – 2010. – Vol.27. – P. 187-198.
11. Coker R. D. Apparatus and method for detection and measurement of target compounds such as a food toxin / R.D. Coker, J. Tetteh, M.P. Andreou // European Patent Application. – 2008. – Vol. 2 – P. 198–274.
12. Development of an immunochromatographic strip test for the rapid detection of deoxynivalenol in wheat and maize // Y. Xu, Z.B. Huang, Q.H. He [et al.] // Food Chem. – 2010. – Vol. 119. – P. 834–837.
13. Peter E. Development and evaluation of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the detection of loose smuth of barley (*Ustilago nuda*) / E. Peter, W. Gerhard, K. Eckhard // European journal of plant pathology. – 2005. – Vol. 11, № 2. – P. 113–124.
14. Мамедов Х.Ф. Радиолитическое разложение охратоксина в кукурузных зернах / Х.Ф. Мамедов // Естественные и технические науки – 2012. – № 2. – С. 76–79.

15. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей / А.К. Пикаев. – М.:Наука, 1986. – 440 с.
16. Романцев М.Ф. Радиационное окисление органических веществ / М.Ф. Романцев, В.А. Ларин. – М.: Атомиздат, 1972. – 156 с.
17. Могилевич М.М. Окисление и окислительная полимеризация непредельных соединений / М.М. Могилевич, Е.М. Плис. – М.:Химия, 1990. – 242 с.
18. Neta P. Rate constant for reactions of phenoxyl radicals in solution / P. Neta, J. Grodkowski // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 2005. – Vol. 34, №.1. – P.109–199.
19. Пискарев И.М. Очистка воды в открытых водоемах за счет цепных реакций, инициированных гидроксильными радикалами / И.М. Пискарев. М.: МГУ-НИИЯФ, 2004, – 7 с.

**Мамедов Х.Ф. Радиолітичні процеси в вологих зернах кукурудзи, пшениці та ячменю / Х.Ф. Мамедов // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С. 226-238.**

Вивчено кінетичні закономірності радіолітичного розкладу мікотоксинів у водних розчинах, в сухому та вологому насінні кукурудзи, пшениці, ячменю. Визначено радіаційно-хімічні виходи розкладу мікотоксинів у цих системах. Встановлено, що швидкість радіолітичної деструкції мікотоксинів зростає при збільшенні вологості насіння. Запропоновані механізми радіолітичної деструкції мікотоксинів у водних розчинах та насінні.

**Ключові слова:** радіолітична деструкція мікотоксинів, зеараленон, охратоксин, афлатоксин.

**Mamedov Kh. F. Radiolytic processes in damp corn, wheat and barley grains / Kh.F. Mamedov // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2013. – Vol. 26 (65), No. 2. – P. 226-238.**

The kinetic regularities of radiolytic decomposition of mycotoxins in water solutions, in dry and damp corn, wheat and barley grains have been studied. Radiation-chemical yields of decomposition of mycotoxins are defined for these systems. It was found that the increase in grains' humidity leads mycotoxins' destruction to increase. Mechanisms of mycotoxins' radiolytic destruction in water solutions and in grains are offered.

**Keywords:** radiolytic destruction of mycotoxins, zearalenon, ochratoxin, aflatoxin.

*Поступила в редакцію 28.05.2013 г.*