

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 543.9:257.1:518.5

В.М. Востоков, В.М. Смирнова, Е.Г. Ивашкин

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГРОБИОПРОИЗВОДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ КОНТАМИНАЦИИ КОМБИКОРМОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложена комплексная система статистической оценки экологического риска и техносферной безопасности современных технологий рационального кормления сельскохозяйственных животных и птицы по статистическим картам экоконтроля и индексам воспроизводимости процесса C_p и C_{pk} . На примере системных статистических исследований и критериальных оценок результатов экомониторинга качества и токсической безопасности фуражного зерна и зернопродукции, загрязненной микотоксинами, показана реальная возможность статистического управления технологическим процессом изготовления сбалансированных и безопасных комбикормов.

Ключевые слова: система менеджмента качества биопродукции, токсическая безопасность; микотоксины, статистическая оценка экологического риска.

В условиях цивилизованных рыночных экономических отношений качество и безопасность промышленной продукции становится важнейшей экономической категорией. В связи с этим изменился взгляд как на проблемы достоверной оценки качества и безопасности промышленной биопродукции так и на вопросы контроля и управления качеством по результатам экоаналитического контроля биопроизводства.

По международным нормам менеджмента качества серии *ISO 9000* сертифицируется не продукция, а само производство. Это позволяет оценивать качество и безопасность пищевой и сельскохозяйственной биопродукции по достоверным результатам выборочного экоаналитического контроля на всех критических производственных этапах с учетом требований заказчика и требований техносферной безопасности данного биопроизводства.

В последние годы, в связи с возрастающими требованиями по качеству биопродукции и по обеспечению техносферной безопасности предприятий биотехнологического профиля, опубликован целый ряд работ, где обсуждены вопросы управления качеством биопродукции, по результатам физико-химической диагностики промышленных биоматериалов и превентивной оценки экологического риска в рамках методологии "*Prevention Pollution*".

Так, в работах [1-4] было впервые указано на актуальную необходимость анализа биологически активных веществ (БАВ) с учетом специфических особенностей количественной оценки биологических объектов. При этом уже требуется одновременная оценка массовой доли БАВ ($m_{\text{БАВ}}$) и его биологической (физиологической) активности - $A_{\text{БАВ}}$, которая не всегда коррелирует с найденной по результатам анализа величиной $m_{\text{БАВ}}$.

Величина $A_{\text{БАВ}}$, численно оцениваемая в международных единицах биологической активности (*IE* или *ME*), часто не бывает постоянной, так как она зависит от множества факторов внешнего воздействия на ожидаемый биологический эффект [3-5]. Здесь, как указано в

работах [2-8] ближе подходят статистические методы исследований и оценок сложных многофакторных биосистем.

В нормах государственной системы стандартизации (ГСС) не предусмотрено учитывать специфические особенности оценки биологических объектов. Более того, многие стандартные методики выполнения измерений (МВИ) были напрямую перенесены в заводские лаборатории (ЗЛ) биотехнологических производств из ЗЛ химических производств, где они прошли метрологическую аттестацию.

Но если для оценки качества и безопасности химической продукции достаточно оценить массовую долю контролируемого ингредиента, то для оценки качества биопродукции потребуется исследовать весь комплекс ингредиентов и факторов влияния на ожидаемый биологический эффект [4, 5]. Кроме того, для оценки массовой доли биотоксикантов по нормам ГСС всякий раз потребуются эталонные образцы указанных БАВ, которых обычно нет, так как эталон биоактивности практически невозможно сохранить в нестерильных условиях биопроизводства.

Значительные трудности изготовления и хранения точных биоэталонов, как и проблемы стандартизации (по нормам ГСС) некой оригинальной методики выполнения измерений (МВИ), адекватной многофакторному биопроцессу [3-5] – все это уже становится сдерживающим фактором создания на предприятии биотехнологического профиля комплексной системы менеджмента качества (СМК) и безопасности биопродукции.

СМК включает в себя две взаимосвязанные подсистемы:

- комплексную систему экоаналитического контроля качества биоматериалов на всех критических этапах биопроизводства;
- систему статистического управления биотехнологическим процессом по результатам выборочного контроля качества биопродукции [5-7].

Подобные эффективно действующие СМК, отвечающие международным нормам добровольной сертификации производств серии *ISO 9000*, уже давно нашли применение на предприятиях машиностроения и радиоэлектронной промышленности Евросоюза. Не менее целесообразно создать подобную СМК на каждом предприятии биотехнологического профиля, где статистическое управление многофакторным биотехнологическим процессом по результатам выборочного контроля позволит не только обеспечить стабильный выпуск доброкачественной биопродукции, но также объективно оценить уровень техносферной безопасности данного биотехнологического процесса.

Проблема скорейшей перестройки норм ГСС на международные нормы добровольной сертификации становится весьма актуальной.

В работах [5-8] даны убедительные доказательства того, что актуальные проблемы априорной оценки экологического риска биопроизводства нельзя решать в рамках системы обязательной сертификации ГСС. В последние годы происходит перестройка ГСС и сделаны реальные шаги, приближающие национальную “Систему обязательной сертификации ГОСТ Р” к Международным нормам сертификации, серии *ISO 9000*.

В 2010 г. была утверждена промежуточная модель добровольно – обязательной сертификации – “Система ГОСТ Р - ИСО 14000”. Более гибкая система сертификации уже позволяет проявлять творческую инициативу в сфере управления качеством. Возникла уникальная возможность не просто следовать нормам ГСС, а вносить коррективы в технический регламент производства, если это способствует дальнейшему росту качества и безопасности биопродукции и повышению уровня техносферной безопасности производства.

Важнейшим условием реализации “Системы ГОСТ Р - ИСО 14000” на предприятиях биотехнологического профиля является организация на каждом из них комплексной системы менеджмента качества (СМК), где на основе ранее установленных [3-6] научных принципов и критериев количественной оценки биологических объектов внедрены оригинальные МВИ, адекватные биопроцессу. Это отвечает международным нормам сертифика-

ции производства и требованиям заказчика в отношении качества и безопасности выпускаемой биопродукции.

В международной системе менеджмента качества *ISO 9000*, вобравшей в себя все лучшее из национальных систем добровольной сертификации, важнейшим является элемент 4.20 “Статистика” [8], в котором даны рекомендации по широкому внедрению в управление многофакторных процессов современных методов статистических исследований и оценок. Действительно, принятая в ГСС численная оценка качества и безопасности продукции по результатам сертификационных испытаний на их соответствие НД, как указано ранее, не всегда бывает достоверной.

Необходимо осуществлять системный подход к выбору приемлемой МВИ, адекватной биопроцессу, к выбору соответствующего метода статистической обработки результатов анализа, что позволит решить указанные проблемы управления качеством биопродукции и априорной оценки экологического риска биопроизводства по статистическим картам контроля (расчетно-графический метод), или по критериям воспроизводимости и надежности процесса C_p и C_{pk} (расчетно-аналитический метод) [5-8].

Так, применяя современный метод статистических исследований и критериальных оценок, можно по результатам выборочного контроля выявить основные источники систематической погрешности, а после их удаления вычислить величину стандартного отклонения S для данной выборочной дисперсии результатов измерений по уравнению:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где x_i – текущее значение результатов измерений; x_m – среднее арифметическое результатов измерений; n – объем выборки.

Далее по величине S нетрудно вычислить доверительный интервал (ДИ = $x_m \pm \varepsilon$) для истинного результата измерений - μ [8]. Но для вычисления точного значения ДИ, по Гауссу, в зависимости от объема выборочной дисперсии ($n \neq \infty$) всякий раз потребуются сделать оптимальный выбор одного из трех возможных вариантов расчета численного значения абсолютной случайной погрешности - ε . Так, при малой выборке, с $n < 16$, востребованы обе поправки Стьюдента. Это табличный коэффициент $t_{\alpha, f}$ и приведенное значение стандартного отклонения $S_m = S / \sqrt{n}$.

Если объем выборки $n \gg 16$, то поправки Стьюдента не нужны, а $\varepsilon = S$. Но при $n < 16$ численное значение случайной погрешности вычисляют по формуле: $\varepsilon = S t_{\alpha, f}$, а при $n \ll 16$ используется расчетная формула $\varepsilon = S_m t_{\alpha, f}$.

Данный пример неоднозначного вычисления случайной погрешности измерений косвенно указывает на то, что закон нормального статистического распределения (ЗНР) лишь тогда справедлив, когда выполняются два основных постулата Гаусса:

1. Объем выборки n равен бесконечности ($n = \infty$).
2. Все отклонения от истинной величины μ являются случайными.

Тогда, в отсутствии значимого источника систематического отклонения от истинной величины μ , среднее значение всей совокупности результатов параллельных измерений - $x_m = \mu$, а кривая гауссова статистического распределения принимает колоколообразный вид, с зеркально ниспадающими ветвями нормального статистического распределения генеральной совокупности случайных величин x_i .

В реальности статистическое распределение часто бывает аномальным или, в лучшем случае, распределением смешанного типа, где имеют место как случайные, так и систематические отклонения от нормы μ . А если данная выборочная дисперсия не отвечает ЗНР, то при $n \ll \infty$ расчеты по формулам Гаусса не всегда могут быть достоверными, в случае количественной оценки многофакторных и многопараметровых эко- или биосистем.

Но учитывая, что статистика Гаусса давно реализована в стандартных компьютерных программах, возникает необходимость ее дальнейшего практического использования. Даже в критической ситуации, касательно неправомерной статистической оценки результатов из-

мерений для дисперсии с малой выборкой $n < 16$, указанная проблема несоответствия ЗНР может быть успешно решена, если воспользоваться поправками Стьюдента. Это позволяет уменьшить ошибку измерений, обусловленную малым объемом выборки n .

Таким образом, для достоверной статистической оценки экологического риска и техносферной безопасности биопроизводства всякий раз потребуются выбор оптимального метода статистических исследований и оценок результатов выборочного контроля многопараметровой, многофакторной и синергентной биосистемы [6].

Подобное статистическое моделирование многофакторного биопроцесса позволяет выявлять специфические особенности конкретной биосистемы, а также осуществлять управление биопроцессом по статистическим картам контроля и по универсальным численным критериям воспроизводимости и надежности (C_p и C_{pk}) [7, 8].

В указанных работах [7, 8] впервые было предложено управлять биотехнологическим процессом по результатам выходного контроля качества выпускаемой биопродукции с учетом специфических особенностей численной оценки равновесного состояния той или иной многопараметровой и многофакторной биоэкосистемы. В данной работе также предлагается оценивать экологический риск и уровень техносферной безопасности биотехнологий по статистическим критериям C_p и C_{pk} , где их вычисляют по результатам локального мониторинга содержания токсикантов на всех критических этапах данного биопроизводства, что позволяет оценить его экологический риск, в рамках методологии “*Prevention Pollution*”.

Универсальные индексы воспроизводимости биопроцесса C_p и C_{pk} зависят от величины S - стандартного отклонения выборочной дисперсии, вычисляемой по формуле (1). Так как величины C_p и C_{pk} косвенно связаны с нормами ПДК, отвечающими верхней (ВГД) или нижней (НГД) границе поля допуска, то они могут служить объективными критериями экологического риска и техносферной безопасности данного производства.

Индекс воспроизводимости процесса C_p вычисляется по формулам:

$$C_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6S} \quad \text{или} \quad C_p = \frac{\text{ВГД} - \text{ЦЛ}}{3S}, \quad (2)$$

где: ВГД и НГД – верхняя и нижняя границы поля допуска; ЦЛ – центральная линия поля допуска; S – стандартное отклонение выборочной дисперсии.

Первую формулу следует применять, когда экологический риск оценивается сразу по обеим границам поля допуска. Так, экологический риск острого авитаминоза следует оценивать по НГД, а риск гипервитаминозного отравления пищевой или кормовой продукции можно оценить по ВГД.

Но если речь идет об оценке отравления, например, комбикормов микотоксинами, то достаточно принять за норму ПДК определяемого микотоксина верхнюю границу поля допуска (ВГД). Тогда величину C_p проще вычислить по второй из двух указанных формул (2), по которой можно исследовать отклонения текущих значений результатов контроля (x_i) от нормы качества – центральной линии поля допуска (ЦЛ), но лишь для верхней его половины.

В данном случае статистическое исследование нижней половины поля допуска не имеет смысла, как и не востребовано численное значение НГД.

Зато в расчетно-графическом методе определения экологического риска по результатам мониторинга качества и безопасности фуражного зерна, контаминированного афлотоксинами, где потребуется построить либо x – карту, либо R - карту контроля [8], для оценки стабильности процесса контаминации зерна невозможно обойтись без НГД (рис. 1).

Индекс надежности C_{pk} , по которому оцениваются реальные возможности процесса контаминации зерна, с учетом систематического отклонения от нормы качества под воздействием внешних факторов влияния на уровень микотоксикоза, вычисляется по формуле:

$$C_{pk} = \frac{\text{/ВГД} - \mu}{3S}, \quad (3)$$

где μ - истинный результат (среднее арифметическое данной выборочной дисперсии).

Реальные возможности любого процесса всегда ниже потенциальных, так как под влиянием различных факторов внешнего воздействия происходит децентрирование исследуемого биопроцесса. Коэффициент децентрирования процесса находится в пределах $k = 0-1$, поэтому $C_{pk} = C_p (1 - k)$. Если $k = 0$, то процесс центрирован, а $C_{pk} = C_p$. Но если $k = 1$, то $C_{pk} = 0$. Тогда процесс становится не управляемым, так как он полностью децентрирован и практически «опрокинулся» [7, 8]. Как показано в работе [7], если $C_p > 1$, то потенциальная возможность процесса изготовления доброкачественной и безопасной биопродукции достаточно велика, так как при $C_p > 1$ все результаты выборочного контроля находятся в пределах поля допуска, а вероятность случайного превышения нормы ПДК близка к нулю. Соответственно, в отсутствии источника систематического отклонения от установленной нормы ПДК ($k = 0$, $C_{pk} = C_p$) риск токсического загрязнения рационов кормления птицы будет минимальным. Наоборот, если $C_p < 1$, то ожидаемый экологический риск превышает допустимые нормы, как и велика вероятность развития острого микотоксикоза на последней стадии кормления животных и птицы.

Проблема микотоксикозов пищевого и фуражного зерна становится все более острой, так как зерно, выращиваемое в России и в странах СНГ, контаминировано микотоксинами. Наиболее опасные продукты метаболизма микроскопических несовершенных грибов указаны в табл.1 и табл. 2 [9, 12].

Таблица 1

Гибридные методы анализа микотоксинов в пищевой и кормовой зернопродукции

№ № пп	Загрязнители продукции	ПДК мг/кг	Метод анализа и предел обнаружения, мг/кг	НД Минздрава РФ
1	Афлатоксины В1 и G	0,001-0,0005	ТСХ-Флуориметрия (0,001) ВЭЖХ-Флуориметрия (0,0001)	МУ МЗ 2273-80 МУ МЗ 4082-86
2	Афлатоксин М ₁	0,0005	ТСХ-Флуориметрия (0,0005) ВЭЖХ-Флуориметрия (0,00005)	МУ МЗ 2273-80 МУ МЗ 4082-86
3	Дезоксиниваленол, (ДОН, Вомитоксин)	0,05-1,0	ТСХ – Флуориметрия (0,2) ВЭЖХ – УФ-фотометрия (0,05) ТСХ-Флуориметрия (0,04)	МУ МЗ 3940-85 МУ МЗ 5177-90 МУ МЗ 2964-84
4	Зеараленон	1,0	ВЭЖХ-Флуориметрия (0,005) ГЖХ-ДЭЗ (0,05)	МУ МЗ 5177-90 МУ МЗ 3184-84
5	Т-2 Токсин	1,0	ГЖХ – ДЭЗ (групповой) (0,001) ТСХ – Флуориметрия (0,02)	ИНПИТ-90 МУ МЗ 2655-82
6	Патулин	0,05	ТСХ – Флуориметрия (0,01) ТСХ – Флуориметрия (0,01)	ГОСТ 28038-89 МУ МЗ 3245-85
7	Охратоксин А	0,05	ВЭЖХ-Флуориметрия (0,001) ТСХ- Флуориметрия (0,02)	ИНПИТ-92
8	Стеригматомицин	0,025	ВЭЖХ-УФ-фотометрия (0,003)	ИНПИТ-92

Причины интенсивного роста грибов в период вегетации и созревания зерновых культур, однако, пока еще не выяснены [10, 13], что указывает на значительные трудности достоверной численной оценки экологического риска и техносферной безопасности современных технологий кормления птицы. Здесь нужен комплексный подход к данной экоаналитической проблеме, где потребуются статистическая оценка результатов локального экологического мониторинга на всех критических этапах экологической цепи:

«природа – технология производства фуражного зерна и комбикормов – технологии рационального кормления птицы (молодняка, бройлеров, кур-несушек) – переработка птицепродукции - человек».

Таблица 2

Результаты мониторинга уровня контаминации фуражного зерна микотоксинами

Месяц	Микотоксины, мг/кг					
	Т-2	ЗЕН	ФУМ	ОА	В-1	ДОН
I	0,1035	0,0487	0,8489	0,0294	0,0026	0,2685
II	0,0651	0,1489	3,4578	0,0995	0,0183	0,3615
III	0,0576	0,0535	3,5087	0,0321	0,0785	0,8025
IV	0,0632	0,0715	2,8046	0,2501	0,0048	0,3400
V	0,1483	0,0550	2,9251	0,0274	0,0196	0,0847
VI	0,0705	0,0547	3,0834	0,0109	0,0344	0,0933
VII	0,0879	0,0505	1,9717	0,012	0,0034	0,2800
VIII	0,0461	0,2101	3,6628	0,0785	0,0246	0,0800
IX	0,0283	0,2779	4,4717	0,1050	0,0090	0,2523
X	0,0588	0,4647	1,9304	0,1031	0,0392	1,2000
XI	0,3428	0,0605	1,7055	0,1340	0,0865	1,6300
XII	0,2206	0,0731	14,7631	0,0200	0,0036	1,0930
Средн. за год	0,0914	0,1532	3,6234	0,0817	0,0304	0,4811

В данном случае, вмешательство человека в технологию рационального кормления птицы сводится к обеспечению минимального уровня контаминации фуражного зерна и зернопродукции, используемой в производстве комбикормового сырья, необходимого для составления сбалансированных и безопасных рационов кормления птицы.

Но прежде чем проводить соответствующие мероприятия по снижению риска микотоксикозов, каждый раз потребуются идентифицировать наиболее опасные для птицы микотоксины. Одновременно потребуются установить реальный уровень природной контаминации зерна, зависящей от целого ряда факторов влияющих на рост микотоксикоза фуражного зерна.

Установлено, что нестабильные погодные условия и популярная ныне беспашотная обработка почвы ведет к росту микотоксикозов фуражного зерна [11, 12], а обработка растений фунгицидами не всегда ведет к успеху, так как они, снижая поражение зерна одними грибами, способствуют росту других микотоксинов за счет стресса от воздействия фунгицидов на соответствующие микроскопические грибы [10, 12, 13].

Все это указывает на необходимость системного подхода к решению острой проблемы снижения уровня токсической загрязненности фуражного зерна уже на первом этапе указанной экологической цепи. В качестве характерных примеров непредсказуемого поражения микотоксинами зерновых культур, выращиваемых в “житнице страны” – Краснодарском крае, в таблице 2 представлен среднемесячный уровень контаминации фуражного зерна за период 2012 г. [10].

По литературным данным [9-14] и данным табл. 1 – табл. 3 можно сделать вывод о том, что наиболее распространенными в РФ микотоксинами, загрязняющими фуражное зерно, являются следующие биотоксиканты: vomitоксин (ДОН), Т-2 токсин, зеараленон и афлатоксины. Наиболее опасным для птицы считается афлатоксин В1, имеющий наименьший среди них LD-50, а его ПДК порой не выше нанограммовых количеств (табл. 1).

Таблица 3

Статистическая оценка техносферной безопасности комбикормового сырья, используемого для приготовления безопасных и сбалансированных рационов кормления птицы

1. Оценка содержания афлатоксина В1 в фуражном зерне, мг/кг; $n=12$

месяц	$C_{\text{афлг В1}}$, мг/кг	$\Delta x = x_i - x_m$	Δx^2	$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}}$	$C_p = (\text{ВГД-НГД})/6S$
I	0,0026	-0,02444	0,05973 10^{-2}	2,868	$C_p = 0,58$ $C_{pk} = 0,27$ $k = 0,535$
II	0,0183	-0,00874	0,00764 10^{-2}		
III	0,0785	0,05146	0,26480 10^{-2}		
IV	0,0048	-0,02224	0,04946 10^{-2}		
V	0,0196	-0,00744	0,00555 10^{-2}		
VI	0,0344	0,00736	0,00542 10^{-2}		
VII	0,0034	0,02364	0,05588 10^{-2}		
VIII	0,0246	0,00244	0,00060 10^{-2}		
IX	0,0090	0,01804	0,03254 10^{-2}		
X	0,0392	0,01216	0,01479 10^{-2}		
XI	0,0865	0,5946	0,35355 10^{-2}		
XII	0,0036	-0,02344	0,05494 10^{-2}		
Ср. год	$x_m = 0.02704$				

Трудности количественной оценки биологической активности указанных токсикантов обусловлены различными причинами, прежде всего, различным синергентным воздействием тех или иных микотоксинов на кур-несушек, на бройлеров и на молодняк птицы. Более того, для достоверной оценки качества комбикормов потребуется учитывать последствия мероприятий, проводимых с целью подавления микотоксикозов. Среди них наиболее действенными являются два известных способа снижения уровня контаминации фуражного зерна: фунгицидный и адсорбционный.

Фунгицидный способ подавления микотоксикозов реализуется путем добавления к фуражному зерну соответствующего фунгицида, подавляющего развитие микотоксикога. Однако добавление некоторых фунгицидов, в частности, - тебуконазола и флюхинконазола не только не уменьшают, а наоборот, увеличивают контаминацию зерна вомиотоксином (ДОН). Также фунгицид азоксистробин, угнетая рост малоопасной плесени, катализирует рост более опасных грибов вида *Fusarium*.

Указанный способ обеспечения токсической безопасности кормов изучен недостаточно. Но ясно одно, что его можно применять лишь на первом этапе экологической цепи "природа - биотехнологии - человек", так как сами фунгициды могут быть опасными загрязнителями биосферы.

Менее опасным способом уменьшения контаминации зерна является добавка к кормам специальных сорбентов, поглощающих микотоксины и снижающих общий уровень микотоксикозов. Однако в последние годы изменился взгляд на эффективность и надежность указанного способа управления качеством и безопасностью кормов.

Дело в том, что специфические сорбенты, поглощающие микотоксины, а именно, бентониты, цеолиты и алюмосиликаты кальция, магния и натрия, с включениями некоторых ферментов и органических кислот, связывают лишь особо опасные для птицы афлатоксины. При этом, однако, не обеспечивается полная сорбция менее опасных микотоксинов, которые благодаря своему биохимическому синергизму могут представлять не меньшую опасность, чем афлатоксины [9, 13]. К тому же бентониты и алюмосиликаты сорбируют не только афлатоксины, но и иные полезные БАВ: микроэлементы, витамины и пр.

Так, они способны связать [11] почти весь кальций; до 18% меди; 14% цинка, что вредно для птицы, так как нарушается кормовой баланс. В связи с этим доза сорбента в рационах кормления птицы должна быть оптимальной – достаточной для снижения уровня

микотоксикоза до допустимых пределов. Но она не должна быть и избыточной, приводящей к разбалансированию рационов кормления птицы.

Таким образом, проблему обеспечения безопасности производства сбалансированных рационов кормления птицы невозможно решить, если при выборе способа деконтаминации зерна, входящего в состав комбикормов, не будут учитываться особенности воздействия микотоксинов на развитие кур-несушек, бройлеров и молодняка, у которых величины LD50 существенно различаются.

Так, если комбикорм для птицы контаминирован афлатоксинами, то приоритет имеет сорбционный способ подавления микотоксикозов, так как правильно выбранный сорбент способен понизить уровень афлатоксикоза до нормы ПДК. Это позволяет уменьшить дозу сорбента до допустимых пределов и избежать потерь сорбируемых полезных ингредиентов.

Для статистической оценки и управления безопасностью данного процесса рационального кормления птицы потребуются комплексный, системный подход к решению острых проблем контаминации фуражного зерна и к вопросам оптимального выбора точных и чувствительных, но доступных экспрессных методов и средств экоаналитического контроля контаминированной зернопродукции.

В табл. 1 представлены наиболее популярные, высокочувствительные и доступные гибридные методы анализа микотоксинов, применение которых позволяет оценить экологический риск технологии рационального кормления птицы по результатам локального экомониторинга “в поле” и на производстве, в ЗЛ птицефабрики.

Важнейшим достоинством указанных в табл. 1 гибридных методов анализа является их широкая доступность при сохранении чувствительности, близкой к нормам ПДК. Подробное описание стандартных, гибридных МВИ дано в соответствующих НД (табл. 1). В работе [14] представлены оригинальные способы количественного определения афлатоксина В1, содержание которого в некоторых видах пищевой или комбикормовой продукции не может превышать 0,001 мг/кг.

Таким образом, комбинация приемлемых методов концентрирования, разделения и количественного определения микотоксинов позволяет получать достаточно достоверные и воспроизводимые результаты экоаналитического контроля, которые удобно использовать в статистических исследованиях и оценках многофакторных эко- и биосистем.

Как указано ранее, умелое использование современных методов статистических исследований и оценок позволяет управлять процессом рационального кормления птицы и регулировать данный процесс по достоверным результатам экоаналитического контроля.

В табл. 2 приведены результаты годового мониторинга среднемесячных содержаний шести наиболее распространенных микотоксинов, а именно, Т2-токсин; зеараленон; фузонизин; охратоксин А; афлатоксин В1; дезоксиниваленол (ДОН), для определения которых применен метод тонкослойной хроматографии на стандартных пластинах “Silufol”, с флуориметрическим детектированием аналитического сигнала. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что имеет место сезонная контаминация фуражного зерна, характерная для каждого микотоксина.

Статистические исследования и результаты экоаналитического контроля фуражного зерна урожая 2012 г. позволяют оценить как годовой, так и среднемесячный экологический риск возникновения острых микотоксикозов либо по статистическим картам контроля (расчетно-графический метод), либо по индексам воспроизводимости процесса C_p и C_{pk} .

В качестве примера достоверной статической оценки экологического риска использования фуражного зерна, контаминированного афлатоксинами, в технологиях рационального кормления птицы (рис.1) представлена карта среднемесячных значений (x -карта) содержания афлатоксинов (мг/кг) в фуражном зерне урожая 2012 г. В ней нашел подтверждение уже известный факт [12] того, что наибольший риск возникновения острого афлатоксикоза наблюдается в весенний и осенний сезон времени года. Именно, в марте и ноябре уровень контаминации зерна афлатоксином В1 намного превышает ВГД – верхнюю границу поля до-

пуска, что указывает на необходимость срочного подавления афлатоксикоза, путем внесения в фуражное зерно соответствующих ингибиторов микотоксикоза.

В табл. 3 приведены результаты среднемесячного экоаналитического контроля качества фуражного зерна, контаминированного афлатоксином В1, по которым найдена величина стандартного отклонения выборочной дисперсии S , которая здесь является единственным статистическим критерием воспроизводимости процесса контаминации зерна на первом этапе его производства, транспортировки и хранения. Расчеты показали, что величина стандартного отклонения S от нормы качества $\mu \neq x_m$ превышает допустимые пределы, так как численное значение S соизмеримо с текущими значениями результатов выборочного контроля - x_i , что указывает на то, что размах отклонений текущих значений x_i от $\mu = x_m$ может намного превышать верхнюю границу поля допуска ВГД (рис. 1).

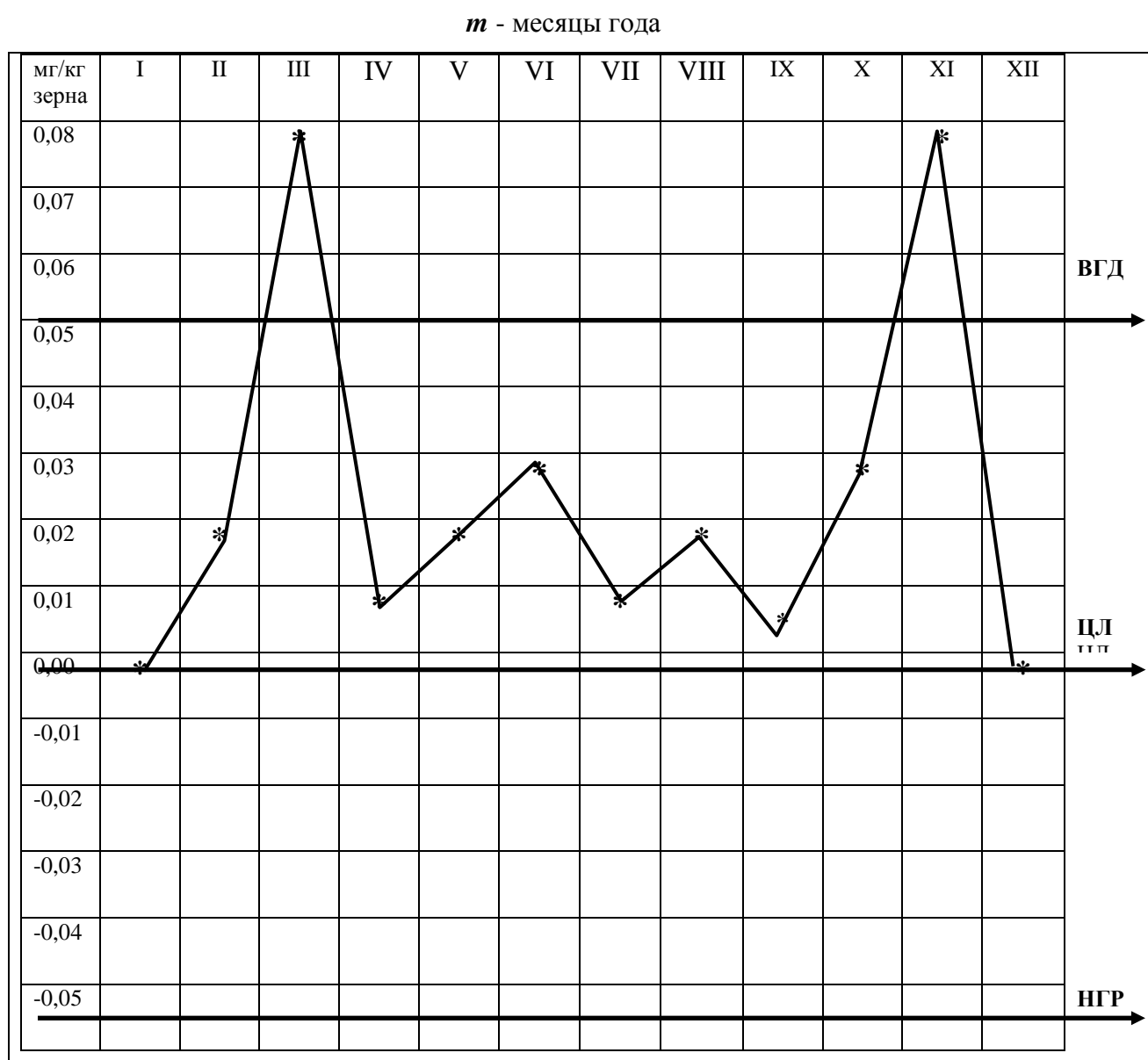


Рис. 1. Мониторинг среднемесячного уровня контаминации фуражного зерна афлатоксином В1 (x - карта контроля, $m = 12$)

Более полной статистической характеристикой процесса контаминации фуражного зерна являются индексы потенциальной и реальной воспроизводимости процесса C_p и C_{pk} , вычисляемые по формулам (2) и (3). В данном случае $C_p = 0,58$. Но как указано выше, если

$C_p < 1$, то это уже свидетельствует о плохой воспроизводимости и непредсказуемости указанного процесса контаминации зерна на первом этапе производства комбикормов. Следовательно, данное фуражное зерно оказалось непригодным для рационального кормления птицы. Поэтому при составлении безопасных рационов потребуется провести ряд дополнительных технологических операций по переработке контаминированного фуражного зерна, касательно уменьшения уровня афлатоксикога до нормы ПДК, путем внесения в зерно соответствующих фунгицидов или сорбентов.

Как было указано ранее, процесс деконтаминации зерна должен быть управляемым по статистическому критерию ($C_{pk} > 1$). Изначально индекс надежности процесса, характеризующий его реальные возможности, оказался $C_{pk} = 0,27$. Полученное $C_{pk} < C_p$ указывает на децентрирование процесса, вызванное определенным источником систематического отклонения от нормы качества фуражного зерна.

Так как $C_{pk} = C_p (1 - k)$, то вычисление коэффициента децентрирования процесса, изменяющегося в пределах $k = 0 \div 1$ не только способствует выявлению значимого источника систематического отклонения от нормы качества, но и позволяет управлять процессом деконтаминирования зерна по величинам C_p , C_{pk} и k .

В данном случае $k = 0,535$ и свидетельствует о значимом источнике систематического отклонения от нормы качества фуражного зерна, обусловленном поражением зерна афлотоксином В1. Также по аналогичной схеме, могут быть выявлены иные источники возникновения острого микотоксикога на любом этапе технологического процесса рационального кормления сельскохозяйственных животных и птицы.

Комплексный, системный подход управления качеством и безопасностью биопродукции с учетом специфики количественной оценки биологических объектов позволяет оценивать экологический риск того или иного предприятия агропромышленного комплекса, а также управлять биотехнологическим процессом по результатам выборочного экоаналитического контроля, по статистическим показателям воспроизводимости многофакторного биопроцесса в рамках современной методологии *Prevention Pollution*.

Библиографический список

1. **Востоков, В.М.** Особенности экоаналитического контроля биотехнологических производств / В.М. Востоков, А.Н. Давыдов, Е.Г. Ивашкин // Материалы VII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика-2009». – Йошкар-Ола. 2009. С.79-80.
2. **Востоков, В.М.** Оценка экологического риска биопроизводства / В.М. Востоков, В.М. Смирнова, Г.Л. Дегтяренко // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011 № 1(86) С. 243 -251.
3. **Востоков, В.М.** Хроматографический контроль биохимической активности жирорастворимых витаминов (А, D, E) в пищевой и кормовой продукции / В.М. Востоков, В.Р. Карташов // Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технологии 2006. Т. 49. №4. С. 115–118.
4. **Востоков, В.М.** Научные принципы выбора физико-химических методов анализа и их реализация при разработке систем контроля биотехнологических производств / В.М. Востоков, С.А. Плохов // Н. Новгород, Деп. в ВИНТИ 29.12.2006. № 1640-В 2006. – 6 с.
5. **Востоков, В.М.** Особенности экоконтроля промышленной биопродукции / В.М. Востоков, С.В. Плохов, В.Р. Карташов // Тр. НГТУ. 2012. № 3. С. 246–253.
6. **Востоков, В.М.** Особенности метрологической оценки результатов аналитического контроля биотехнологий / В.М. Востоков, А.П. Арбатский // Изв. вузов. Поволжск. рег. 2005. № 6 С. 231–240.
7. **Востоков, В.М.** Статистическое управление биопроизводством / В.М. Востоков, Е.Г. Ивашкин // Стандарты и качество. 2006. № 5. С. 42–44.
8. **Востоков, В.М.** Метрология, стандартизация, сертификация. Статистическое управление качеством и оценка экологического риска химических и биопроизводств: учеб. пособие / В.М. Востоков; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. – 153 с.
9. **Папазян, Т.** Микотоксины: Экологический риск и контроль // ООО «Оллтек»/данные Internet www.olltek.ru.
10. **Коростелева, Л.А.** Основы экологии микроорганизмов / Л.А. Коростелева, А.Г. Кошцаев. – СПб.: Лань, 2013. – 240 с.
11. **Gentry, P.** Effects of hemostasis and red cell production // Trichotecene mycotoxicosis: pathophysiologic effects, 1 (vol.2). Edited by Beasley V.R. New York - 1989. P. 39–60.

12. Биотехнология производства и применение функциональных кормовых добавок для птицы: дисс. ... доктора биол. наук: 16.00.04. / Кощаев А. Г. Краснодар, 2008.
13. **Хмара И. В.** Биотехнологические аспекты производства и применения препарата на основе культуры *Bacillus nigricans* 132 для профилактики афлатоксикозов птиц: дисс. ... канд. с.-х. наук: 03.00.23. Краснодар, 2002.
14. **Kozloski, R.P.** Новая методика тонкослойной хроматографии для определения // J. Assoc. Offic. Anal. Chem. 1981. V.64. N 5. P. 1263–1264.

*Дата поступления
в редакцию 21.01.2014*

V. M. Vostokov, V. M. Smirnova, E.G. Ivashkin

**STATISTICAL ASSESSMENT OF AN ENVIRONMENTAL RISK
AND TECHNOSPHERE SAFETY OF AGROBIOPRODUCTIONS ACCORDING
TO THE RESULTS OF MONITORING OF A CONTAMINATION LEVEL
OF FORMULA-FEED PRODUCTION**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The complex system of a statistical assessment of an environmental risk and technosphere safety of modern technologies of rational feeding of agricultural animals and poultry according to statistical cards of environmental control and indexes of reproducibility of process of C_p and C_{pk} was offered. On the basis of statistical researches system and criteria estimates of ecomonitoring of quality and toxic safety of fodder grain and the grainproduction polluted by mycotoxins results, real possibility of statistical management was shown by technological process of production balanced and safe compound feeds.

Key words: quality management system of bioproduction, toxic safety; mycotoxins, statistical assessment of an environmental risk.