

УДК 543.544.5.068.7:543.51: 577.182.46

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ХЛОРАМФЕНИКОЛА И ХЛОРАМФЕНИКОЛА ПАЛЬМИТАТА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

В.Г. Амелин<sup>1,2,\*</sup>, Д.С. Большаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; <sup>2</sup> Федеральный центр охраны здоровья животных; \*e-mail: amelinvg@mail.ru)

Предложен простой способ пробоподготовки, идентификации и определения хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата в пищевых продуктах методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии – квадруполь-времяпролетной масс-спектрометрии высокого разрешения по точным значениям массы ионов, образующихся при ионизации электроспреем. Объекты анализа – мясо (говядина, свинина, птица), продукция аквакультуры (рыба). Пробоподготовка заключалась в экстракции целевых компонентов ацетонитрилом и разбавлении экстракта деионированной водой в два раза. Для идентификации использовали пять параметров: время удерживания, точность значений моноизотопной массы материнских ионов, наличие и точность значений моноизотопной массы дочерних ионов, параметр *mSigma* (соответствие теоретического изотопного распределения практическому) и значения моноизотопной массы аддуктов. Рассмотрены особенности определения хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата, обусловленные появлением в электрораспылительном устройстве депротонированных молекул и аддуктов с хлорид-, формиат- и трифторацетат-ионами при детектировании отрицательных ионов. Кроме того, при первом хроматографировании экстракта элюируется хлорамфеникол ( $t_R = 4,0$  мин), а при повторном хроматографировании смеси ацетонитрил – вода (объемное соотношение 1:1) элюируется хлорамфеникола пальмитат ( $t_R = 6,5$  мин). Предложен способ определения хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата методом стандартных добавок с использованием суммирования площадей пиков всех зарегистрированных ионов. Диапазон определяемых содержаний составил 0,1–10 и 0,5–50 нг/г для хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата соответственно. Относительное стандартное отклонение результатов анализа не превышало 0,15. Продолжительность анализа 50–60 мин.

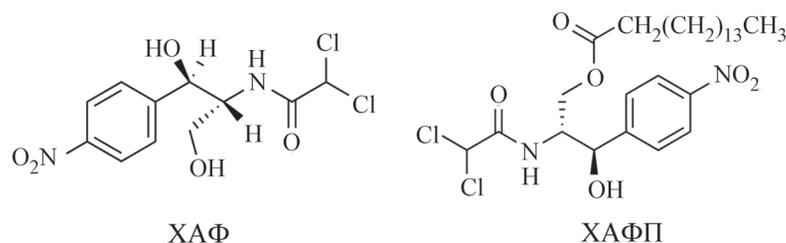
**Ключевые слова:** хлорамфеникол, хлорамфеникола пальмитат, ультравысокоэффективная жидкостная хроматография, квадруполь-времяпролетная масс-спектрометрия высокого разрешения, анализ пищевых продуктов.

Антибиотик хлорамфеникол (ХАФ) активен в отношении стафилококков, стрептококков, пневмококков, кишечной палочки, сальмонелл и спирохет. В основе антибактериального действия ХАФ лежит подавление белкового синтеза микроорганизмов. В ветеринарии ХАФ применяют при заболеваниях органов брюшной полости, воспалении желчных и мочевыводящих путей, мастите, эндометрите, менингите, пневмонии, сальмонеллезе, дизентерии, колибактериозе и пуллорозе птиц [1, 2]. Используют также хлорамфеникола пальмитат (ХАФП) (схема). Поскольку ХАФП не растворим в воде, его используют в качестве добавок в корма для

продолженного действия препарата. Так, лечебный корм «Рупин», содержащий 2 г/кг ХАФП, используется для лечения бактериальной геморрагической септицемии рыб [3].

Активное вещество препарата – антибиотик хлорамфеникол, который высвобождается из ХАФП и действует на возбудителя. Установлено, что сами по себе производные хлорамфеникола (сукцинат, пальмитат и стеарат) не проявляют антимикробной активности, но при их попадании в желудок, кишечный тракт, а затем в кровоток животного происходит распад данных форм до появления активного препарата хлорамфеникола [3]. Нами показано [4–6], что в

## С х е м а



пищевых продуктах могут присутствовать остаточные количества не только хлорамфеникола, но и хлорамфеникола сукцината (водорастворимое производное хлорамфеникола), а также хлорамфеникола пальмитата. Причина того, что ХАФП в организме животного не распадается с образованием хлорамфеникола, кроется, на наш взгляд, в полиморфизме. Полиморфизм выявлен для >70% лекарственных препаратов [7, 8]. Классическим примером полиморфизма служит ХАФП, который может существовать в трех полиморфных формах (А, В и С), а также в виде аморфной формы. Наиболее стабильна форма А, а биологически активны только форма В и аморфная форма, распадающиеся в организме животного до хлорамфеникола [7]. В связи с этим выпускаемые препараты хлорамфеникола пальмитата должны содержать не менее 90% полиморфной формы В. Появление пальмитата хлорамфеникола в мясе рыб может свидетельствовать о превращении в процессе использования полиморфной формы В в более стабильную полиморфную форму А [9], которая, вероятно, не разрушается до хлорамфеникола. В настоящее время не изучено влияние производных хлорамфеникола на организм человека. Вопрос о том, как влияет на здоровье людей употребление продуктов, содержащих производные хлорамфеникола остается открытым.

В настоящем исследовании показана возможность одновременного определения хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата в пищевых продуктах, а также особенности их определения. Отмечены факты появления в пищевых продуктах хлорамфеникола пальмитата в неизменном виде.

### Экспериментальная часть

**Аппаратура.** Исследования проводили на ультравысокоэффективном жидкостном хроматографе «UltiMate 3000» («Thermo Scientific», США), оснащенном квадруполь-времяпролетным масс-спектрометрическим детектором вы-

сокого разрешения «maXis 4G». В качестве источника электрораспылительной ионизации применяли устройство «ionBooster» («Bruker Daltonics», Германия). Для хроматографического разделения использовали УВЭЖХ-колонку «ACQUITY UPLC® ВЕН С18» (30×2,1 мм, 1,7 мкм) («Waters», США) и градиентный режим подачи подвижной фазы.

В работе применяли аналитические весы «Pioneer PA 214С» специального класса точности с пределом взвешивания 0,1 мг («Ohaus Corporation», USA), лабораторную настольную центрифугу «MPW-260R» («MPW Med. Instruments», Польша), дозаторы «Proline Biohit» одноканальные механические переменного объема (10–100, 100–1000 и 1000–5000 мкл («Biohit», Финляндия), политетрафторэтиленовые мембранные фильтры (диаметр 25 мм) с диаметром пор 0,20 мкм («Corning Incorporated», Германия).

**Реактивы.** Использовали стандартные образцы хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата («Sigma-Aldrich», США). Исходные стандартные растворы концентрацией 1 мг/мл готовили растворением точных навесок препаратов в ацетонитриле. Рабочие растворы готовили разбавлением исходных деионированной водой (не менее 18 МОм×см, ОСТ 11 029.003-80). Использовали ацетонитрил («Fisher Scientific UK», Великобритания), изопропиловый спирт («Scharlab, S.L.», Испания), муравьиную кислоту («Sigma-Aldrich», США).

**Идентификация и определение.** Для идентификации ХАФ и ХАФП по полученным хроматограммам использовали программный пакет «DataAnalysis-4.1», «TargetAnalysis» («Bruker Daltonics», Германия), составление картины изотопного распределения аналитов проводили с помощью программного продукта «IsotopePattern» («Bruker Daltonics», Германия).

**Оценка матричного эффекта.** Для оценки матричного эффекта (МЭ) использовали площади хроматографических пиков аналитов с

концентрацией 1 и 5 нг/г, полученные в условиях анализа экстракта из продукта, не содержащего исследуемых соединений, и деионированной воды. Расчет МЭ проводили по формуле:

$$\text{МЭ, \%} = [(S/S_0) - 1] \times 100,$$

где  $S$ ,  $S_0$  – величины площади хроматографических пиков аналитов, полученные для экстрактов из анализируемого продукта и деионированной воды соответственно.

**Условия хроматографического разделения и детектирования.** Подвижная фаза состояла из 0,1%-й муравьиной кислоты в воде (А) и 0,1%-й муравьиной кислоты в ацетонитриле (Б). Осуществляли градиентное элюирование: 0 мин – 5% Б, 0,5 мин – 5% Б, 2 мин – 50% Б, 5 мин – 100% Б, 6 мин – 5% Б до 10 мин – 5% Б (кондиционирование колонки). Скорость потока подвижной фазы 0,4 мл/мин. Оптимальная температура хроматографической колонки составляла 50 °С, объем вводимой пробы 50 мкл. Температура термостата автоматического дозатора 10 °С. Использовали ионизацию электроспреем в устройстве «ionBooster» («Bruker Daltonics», Германия). В работе подобраны следующие оптимальные значения параметров ионизации: давление газа-распылителя (азота) 4,76 атм, поток газа-осушителя (азота) 6 л/мин, поток газа-испарителя (азота) 250 л/ч, температура газа-осушителя (азота) 200 °С, температура газа-испарителя (азота) 250 °С, напряжение на щите капилляра 400 В, напряжение на капилляре 1000 В.

Диапазон регистрируемой массы ионов 100–800 Да. Для калибровки использовали раствор формиата натрия 10 мМ в смеси вода – изопропанол (объемное соотношение 1:1) в интервале хроматографирования 9,5–10,5 мин.

**Пробоподготовка.** В центрифужную пробирку емкостью 15 мл вносили 1,00 г тщательно измельченного продукта, добавляли 1,0 мл воды и 4,0 мл ацетонитрила, встряхивали 5 мин и центрифугировали при 2700 об/мин в течение 5 мин. Отбирали 1,0 мл экстракта, добавляли 1,0 мл деионированной воды, перемешивали и фильтровали в микрофлакон через мембранный фильтр 0,20 мкм. Полученный раствор хроматографировали. При первом хроматографировании определяли хлорамфеникол, при повторном хроматографировании (дозирование 50 мкл смеси ацетонитрил – вода (объемное соотношение 1:1)) определяли хлорамфеникола пальмитат.

## Результаты и их обсуждение

Особенность ионизации электрораспылением ХАФ и ХАФП заключается в образовании нескольких аддуктов (табл. 1). Многообразие аддуктов позволило значительно увеличить достоверность идентификации ХАФ и ХАФП. Кроме того, депротонированные молекулы  $[M-H]^-$  и ионы, полученные в результате образования аддуктов с хлорид-, формиат- и трифтороацетат-анионами ( $[M+Cl]^-$ ,  $[M+NH_3+HCOO]^-$ ,  $[M+HCOO]^-$ ,  $[M+CF_3COO]^-$ ), являются однозарядными, что обеспечивает высокую интенсивность сигнала  $m/z$  регистрируемых форм. Данное обстоятельство в условиях масс-спектрометрии высокого разрешения очень существенно, поскольку влияние низкомолекулярных компонентов матрицы и подвижной фазы на процесс хроматографического разделения и ионизации в этом случае минимально.

Для ХАФ и ХАФП регистрировали по четыре иона при времени удерживания ( $t_R$ ) каждой группы аддуктов, равном 4,0 и 6,5 мин соответственно (табл. 1). Хроматографическое поведение ХАФП обусловлено наличием гидрофобного углеводородного радикала, который имеет большее сродство к немодифицированной поверхности сорбента  $C_{18}$  колонки. Это увеличивает время его удерживания в условиях используемого градиентного режима подачи подвижной фазы.

Особенность хроматографического поведения ХАФ и ХАФП заключается в том, что при первом хроматографировании экстракта элюируется ХАФ при  $t_R = 4,0$  мин. При повторном хроматографировании 50 мкл смеси ацетонитрила и воды (объемное соотношение 1:1) элюируется ХАФП при  $t_R = 6,5$  мин. В этих условиях происходит очистка экстракта (первое элюирование), при этом МЭ для ХАФП составляет < 20% (изучено при концентрации 1 и 5 нг/г). В настоящей работе в целях создания унифицированной методики определения остаточного количества ветеринарных препаратов в пищевых продуктах соблюдали условия хроматографического разделения и определения в молоке 150 ветеринарных препаратов [10].

**Идентификация.** Для идентификации ХАФ и ХАФП использовали хроматограммы, полученные по созданной базе данных (табл. 1) и идентификационным параметрам.

Идентификационными параметрами служили такие показатели, как время удержива-

Таблица 1

Хромато-масс-спектрометрические характеристики хлорамфеникола и хлорамфеникола пальмитата

Аналит	Брутто-формула	Ион	$t_{R, \text{мин}}$	Материнские ионы, $m/z$	$\Delta$ , млн <sup>-1</sup>	Дочерние ионы, $m/z$	$c_{\text{мин}}$ , нг/мл	$c_{\text{н}}$ , нг/мл
Хлорамфеникол	$C_{11}H_{12}Cl_2N_2O_5$	$[M-H]^-$ $[M+NH_3+HCOO]^-$ $[M+Cl]^-$ $[M+CF_3COO]^-$	4,0	321,0040	2,1	152,0369	0,02	0,05
			4,0	384,0360	1,6	194,0481	0,03	0,08
			4,0	356,9806	3,9	257,0365	0,03	0,08
			4,0	434,9968	2,1		0,03	0,08
Хлорамфеникола пальмитат	$C_{27}H_{42}Cl_2N_2O_6$	$[M-H]^-$ $[M+HCOO]^-$ $[M+Cl]^-$ $[M+CF_3COO]^-$	6,5	559,2336	2,5	255,2319	0,05	0,2
			6,5	605,2391	3,1	152,0369	0,08	0,5
			6,5	597,2079	3,5	194,0481	0,05	0,2
			6,5	673,2265	3,8		0,05	0,2

ния ( $\pm 0,1$  мин), точность моноизотопной массы основных аддуктов и дочерних ионов ( $m/z$ ) ( $\pm 5$  млн<sup>-1</sup>), значения моноизотопной массы дочерних ионов и  $mSigma$  ( $< 20$ ). Параметр  $mSigma$  характеризует соответствие теоретического изотопного распределения практическому для разных ионов (рис. 1). Использовали режим широкодиапазонного соударения индуцированных диссоциаций  $bbCID$ , позволяющий проводить одновременную регистрацию масс-спектров без фрагментации и с фрагментацией молекул. Установлено, что при увеличении энергии соударения от 15 до 30 эВ в масс-спектре ХАФ уменьшается пик аддукта с хлорид-ионом и возрастает пик депротонированной молекулы (интенсивность максимальна при 20 эВ). Интенсивность пиков, характерных для дочерних ионов ХАФ ( $m/z = 152,0369$ ;  $m/z = 194,0481$ ;  $m/z = 257,0365$ ) также возрастает и достигает максимальных значений при 30 эВ для  $m/z = 152,0369$ , при 20 эВ для  $m/z = 194,0481$  и  $m/z = 257,0365$ . Для ХАФП также характерно максимальное увеличение интенсивности пика в масс-спектре депротонированной молекулы при  $E = 20$  эВ и максимальная интенсивность пика дочернего иона ХАФП – пальмитиновой кислоты ( $m/z = 255,2319$ ) (табл. 2).

Погрешность в определении масс-ионов не превышала  $\pm 4$  млн<sup>-1</sup> ( $n = 3$ ). Пределы обнаружения ( $c_{\text{мин}}$ ) и пределы определения ( $c_{\text{н}}$ ) рассчитывали при отношениях сигнал/шум, равных 3 и 10 для стандартных растворов аналитов. Для ХАФ и ХАФП (для различных ионов)  $c_{\text{мин}}$  и  $c_{\text{н}}$  были равны 0,03–0,08 и 0,08–0,5 нг/мл, диапазоны определяемого содержания составляли 0,1–10 и 0,5–50 нг/г соответственно.

**Определение.** Установлено, что в разных пищевых продуктах интенсивность ионов, образующихся при ионизации электроспреем, различна. В одном случае интенсивность (площадь хроматографического пика) выше для депротонированных молекул, в другом – для аддуктов с трифторацетат-ионами и другими ионами. В связи с этим для количественного анализа суммировали величины всех площадей хроматографических пиков, соответствующих ионам ( $[M+Cl]^-$ ,  $[M+NH_3+HCOO]^-$ ,  $[M+HCOO]^-$ ,  $[M+CF_3COO]^-$ ). При этом концентрацию определяли методом стандартной добавки [10].

На рис. 2, 3 представлены примеры масс-хроматограмм для реальных объектов. Установлено, что относительное стандартное отклонение результатов анализа не превышает 0,15.

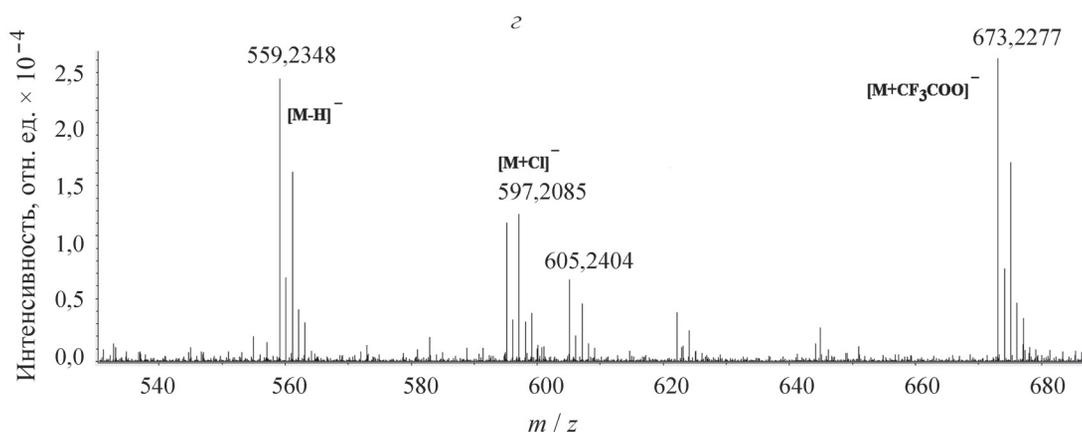
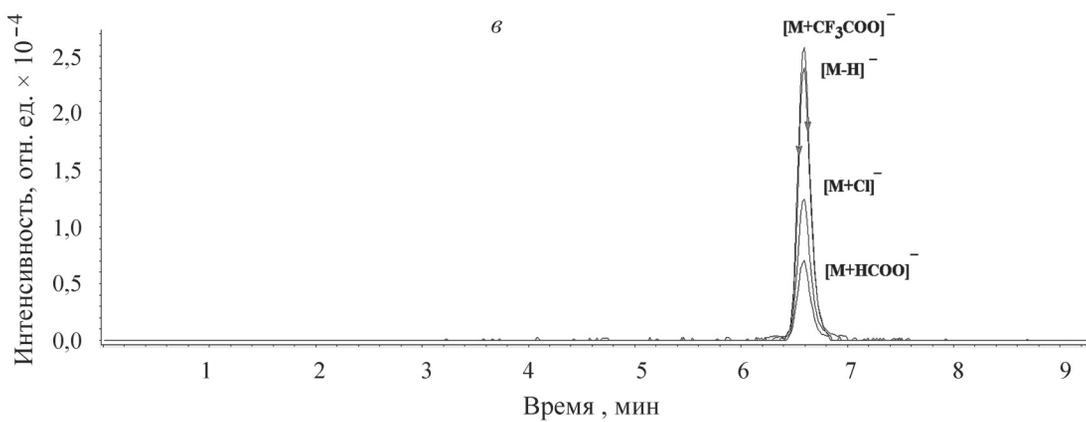
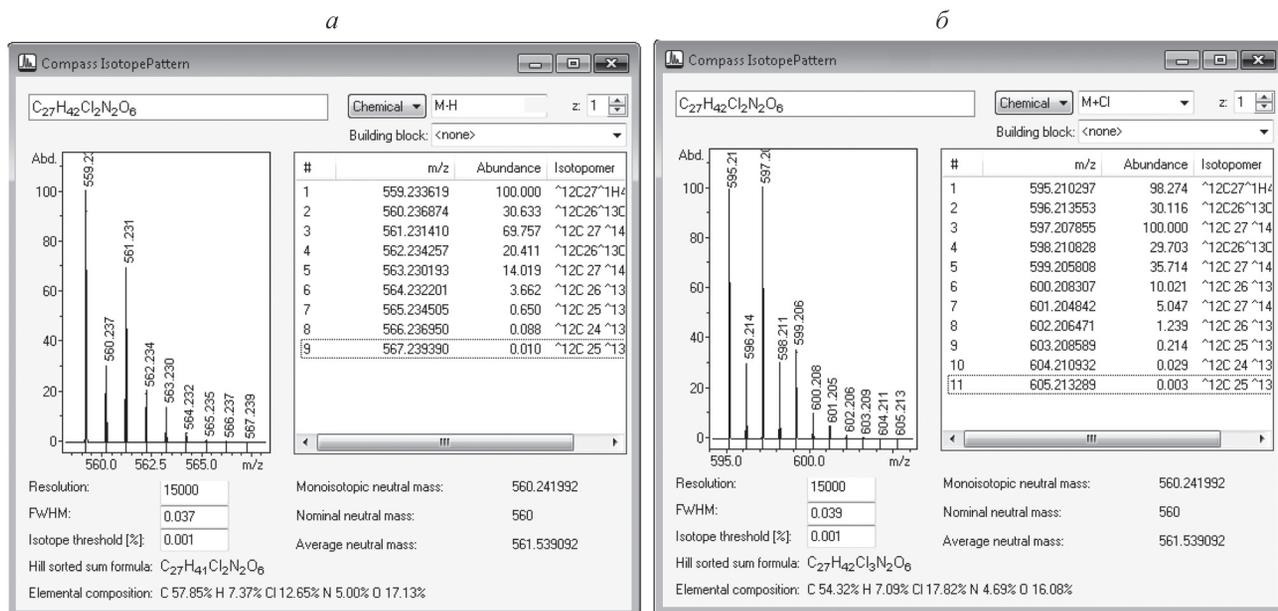


Рис. 1. Масс-спектры, полученные с помощью программы IsotopePattern для ионов  $[M-H]^-$  (а),  $[M+Cl]^-$  (б) и полученные экспериментально при введении в экстракт из мышечной ткани карпа 10 нг/г хлорамфеникола пальмитата (в, з)

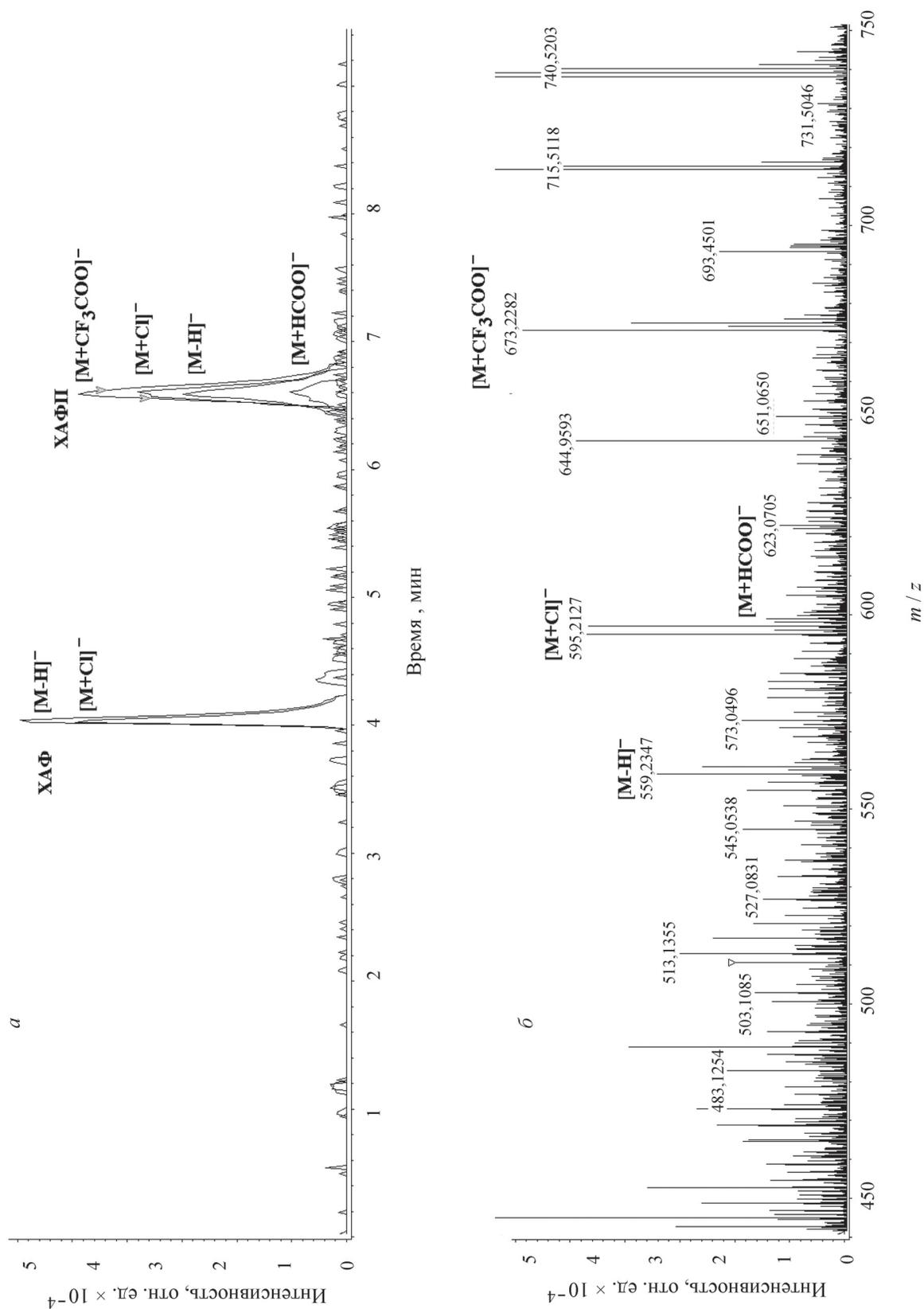


Рис. 2. Масс-хроматограммы (а) и масс-спектр (б) хлорамфеникола пальмитата для экстракта из мяса курицы

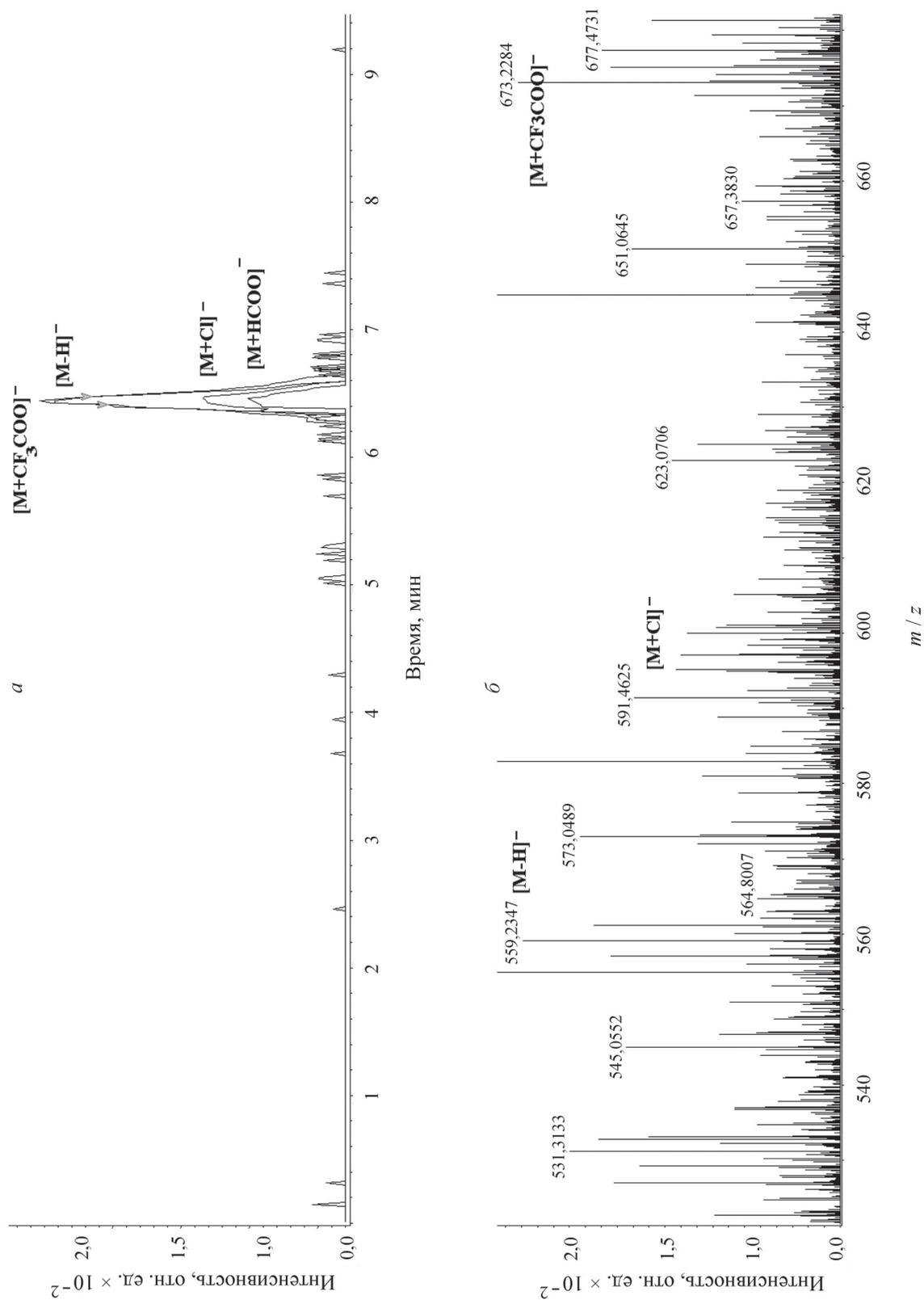


Рис. 3. Масс-хроматограмма (а) и масс-спектр хлорамфеникола пальмитата (б) для экстракта из мышечной ткани карпа

Т а б л и ц а 2

**Интенсивность пиков в масс-спектрах аддуктов ХАФ и ХАФП при разной энергии соударений (режим *bbCID*)**

Энергия соударений ( <i>E</i> , эВ)	Исходные аддукты ( <i>I</i> , отн. ед.)			Дочерние ионы ( <i>I</i> , отн. ед.)		
ХАФ						
<i>m/z</i> , Да	321,0051	356,9805	152,0369	194,0481	257,0365	
15	482855	6646	19603	13205	25814	
20	378334	1237	84705	37201	67633	
30	13174	376	118421	12248	13886	
ХАФП						
<i>m/z</i> , Да	559,2336	597,2076	673,2297	255,2319	152,0369	194,0481
15	163729	36076	70609	8428	13580	1509
20	190043	5539	16385	72286	26518	7659
30	23629	–	–	436499	45690	17500

Т а б л и ц а 3

**Результаты определения остаточного количества ХАФ и ХАФП в пищевых продуктах (*n* = 3, *P* = 0,95)**

Матрица	Аналит	Найдено, нг/г	<i>s<sub>r</sub></i>
Мясо курицы	ХАФ	0,9 ± 0,1	0,12
	ХАФП	0,8 ± 0,2	0,15
	введено 1,0 нг/г ХАФП	2,1 ± 0,3	0,10
Мышечная ткань карпа	ХАФ	0,6 ± 0,1	0,15
	ХАФП	1,2 ± 0,3	0,08
Мышечная ткань сома	ХАФ	< <i>c<sub>мин</sub></i>	–
	ХАФП	0,9 ± 0,2	0,13
	введено 1,0 нг/г ХАФП	1,9 ± 0,1	0,09
Свинина	ХАФ	2,0 ± 0,3	0,09
	ХАФП	1,3 ± 0,5	0,10
	введено 5,0 нг/г ХАФ	8,5 ± 0,3	0,08

Данные, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о правильности выполненного анализа.

Обнаружены и определены хлорамфеникол и хлорамфеникола пальмитат в разных пищевых продуктах (табл. 3). Вероятность определения ХАФП связана с нашими предположениями о полиморфизме и невозможности в конкретных условиях в полной мере проявиться антибактериальным свойствам ХАФ.

Таким образом, в работе показана возможность одновременного определения ХАФ и ХАФП в пищевых продуктах методом ультра-высокоэффективной жидкостной хроматографии – квадруполь времяпролетной масс-спектрометрии высокого разрешения по точным

значениям массы ионов, образующихся при ионизации электроспреем. Установлено появление в пищевых продуктах хлорамфеникола пальмитата. Выявлены особенности определения ХАФ и ХАФП, а также и констатированы факты появления хлорамфеникола пальмитата в мясе свинины, курицы, мышцах рыбы.

Исследование выполнено в рамках бюджетного финансирования ФГБОУ ВО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ) и ФГБУ Федеральный центр охраны здоровья животных (ФГБУ ВНИИЗЖ).

Конфликта интересов нет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gasilova N.V., Eremin S.A.* // J. Anal. Chem. 2010. Vol. 65. N 3. P. 255.
2. *Mishra R., Srivastava A., Sharma A., Tandon P., Baraldi C., Gamberini M.C.* // Spectr. Acta. Part A: Molec. Biomolec. Spectr. 2013. Vol. 101. P. 335.
3. *Кирюткин Г.В., Тимофеев Б.А., Созинов В.А.* Справочник ветеринарных препаратов. Киров, 1997.
4. *Амелин В. Г., Мухрыгина А. М., Коротков А.И.* // Вест. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2017. Т. 58. № 5. С. 240 (*Amelin V.G., Mukhrygina A.M., Korotkov A.I.* // Mosc. Un. Chemi. Bull. 2017. Vol. 72. №. 5. P. 236).
5. *Амелин В.Г., Федина Н.М., Коротков А.И.* // Масс-спектрометрия. 2016. Т. 13. № 2. С. 111.
6. *Amelin V., Korotkov A.* // Food Add. Cont.: Part A. 2017. Vol. 34. N 2. P. 211 (DOI: 10.1080/19440049.2016.1266396).
7. *Василькин Д.А., Поцелуев Л.А., Литвинов И.А., Губайдуллин А.Т.* // Вестн. СПб. ун-та. 2010. Т. 11. № 1. С. 166.
8. *Опарин Р. Д., Воробей А. М., Киселев М. Г.* // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2018. Т. 13. № 4. С. 4.
9. *Villiers M.M., Watt J.G., Lotter A.P.* // Drug Develop. Industr. Pharm. 1991. Vol. 17. N 10. P. 1295.
10. *Амелин В.Г., Федина Н.М., Подколзин И.В., Коротков А.И.* // Журн. аналит. химии. 2018. Т. 73. № 6. С. 461 [*Amelin V.G., Fedina N.M., Podkolzin I.V., Korotkov A.I.* // J. Analyt. Chem. 2018. Vol. 73. N 6. P. 576].

Поступила в редакцию 10.09.2019  
 Получена после доработки 12.10.2019  
 Принята к публикации 14.11.2019

## SIMULTANEOUS DETERMINATION OF CHLORAMPHENICOL AND CHLORAMPHENICOL PALMYTATE RESIDUES IN FOOD PRODUCTS BY LIQUID CHROMATOGRAPHY – MASS SPECTROMETRY

V.G. Amelin<sup>1,2,\*</sup>, D.S. Bol'shakov<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Vladimir State University; <sup>2</sup> Federal Center for Animals Health, Yur'evets; \*e-mail: amelinvg@mail.ru)

A simple method of sample preparation, identification and determination of chloramphenicol and chloramphenicol palmitate in food products using ultra-high-performance liquid chromatography – a high-resolution quadrupole time-of-flight mass spectrometry using the exact ion masses produced by electrospray was proposed. The objects of analysis are meat (beef, pork, poultry), aquaculture products (fish). The preparation consisted in the extraction of the target components with acetonitrile and diluting the extract with deionized water 2 times. Five parameters were used for identification: retention times, the accuracy of the monoisotopic masses of the parent ions, the presence and accuracy of the monoisotopic masses of the daughter ions, the *mSigma* parameter (the theoretical isotopic distribution corresponds to the practical one) and the monoisotopic masses of the adducts. The features of the determination of chloramphenicol and chloramphenicol palmitate associated with the appearance in the electrospray device of deprotonated molecules and adducts with chloride, formate and trifluoroacetate ions in the detection of negative ions, as well as the fact that chloramphenicol is eluted during the first chromatography of the extract ( $t_R = 4,0$  min), are considered and upon repeated chromatography of the acetonitrile-water mixture (1:1, by volume), chloramphenicol palmitate is eluted ( $t_R = 6,5$  min). A method for determining chloramphenicol and chloramphenicol palmitate by the method of standard additives using the summation of the peak areas of all registered ions is proposed. The ranges of the determined contents were 0,1–10 ng/g and 0,5–50 ng/g for chloramphenicol and chloramphenicol palmitate, respectively. The relative standard deviation of the analysis results did not exceed 0.15. The analysis time is 50–60 minutes.

**Key words:** chloramphenicol, chloramphenicol palmitate, ultra-high performance liquid chromatography – quadrupole time-of-flight high-resolution mass spectrometry, food analysis.

**Сведения об авторах:** *Амелин Василий Григорьевич* – профессор кафедры химии Института биологии и экологии Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, вед. науч. сотр. лаборатории химического анализа ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), докт. хим. наук (amelinvg@mail.ru); *Большаков Дмитрий Сергеевич* – вед. науч. сотр. лаборатории химического анализа ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), канд. хим. наук (bolshakovina@mail.ru).