УДК 579.842.11 ***DOI 10.52578/2305-9397-2025-4-2-100-111***
МРНТИ: 68.41.05

Байменов Б.М., доктор PhD**, основной автор,** https://orcid.org/0000-0001-9063-7651
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, ул. А.Байтурсынова 47, 110000, Казахстан, bahytbajmenov@gmail.com
Досова А.Д., магистр техники и технологий, https://orcid.org/0000-0003-1245-0722
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, ул. А.Байтурсынова 47, 110000, Казахстан, dosova_alma@mail.ru
Чужебаева Г.Д., кандидат ветеринарных наук, асс. профессор https://orcid.org/0000-0002-00918888
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, ул. А.Байтурсынова 47, 110000, Казахстан, gulzhandoc@mail.ru
Рыщанова Р.М., PhD, профессор, https://orcid.org/0000-0002-2695-4238
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, ул. А.Байтурсынова 47, 110000, Казахстан, raushan5888@mail.ru
Мәлікзада Қ., магистр ветеринарных наук, https://orcid.org/0000-0002-8689-3342
НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, ул. А.Байтурсынова 47, 110000, Казахстан, Kalmias.malikzada@mail.ru
Ысқақ А., кандидат сельскохозяйственных наук, https://orcid.org/0000-0002-8313-8982
НИИ ПБ, НАО «КРУ имени Ахмет Байтұрсынұлы» Республика Казахстан, 110000, г.Костанай, проспект Абая 28/1, alia-almaz@mail.ru.

Baimenov B.M., Master of Veterinary Science**, the main author,** https://orcid.org/0000-0001-9063-7651
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, st. A. Baitursynov 47, 110000, Kazakhstan, bahytbajmenov@gmail.com
Dossova A. D., Master of Engineering and Technology, https://orcid.org/0000-0003-1245-0722
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, st. A. Baitursynov 47, 110000, Kazakhstan, dosova_alma@mail.ru
Chuzhebaeva G. Zh., Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, https://orcid.org/0000-0002-00918888
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, st. A. Baitursynov 47, 110000, Kazakhstan, gulzhandoc@mail.ru
Ryshchanova R. M., PhD, Professor, https://orcid.org/0000-0002-2695-4238
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, st. A. Baitursynov 47, 110000, Kazakhstan, raushan5888@mail.ru.
Malikzada K., Master of Veterinary Sciences, https://orcid.org/0000-0002-8689-3342
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, st. A. Baitursynov 47, 110000, Kazakhstan, Kalmias.malikzada@mail.ru.
Yskak A., Candidate of Agricultural Sciences, https://orcid.org/0000-0002-8313-8982
NLC «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, 28/1 Abai Str., Kazakhstan, 110000, alia-almaz@mail.ru.

КОМПЛЕКСНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТОКСИГЕННЫХ ФОРМ *E. COLI* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИХ, БИОХИМИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ

COMPREHENSIVE IDENTIFICATION OF *TOXIGENIC FORMS* OF *E. COLI USING BACTERIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND MOLECULAR METHODS*

АННОТАЦИЯ

В работе проведена комплексная идентификация токсигенных форм *E. coli* (STEC), включая серотип O157:H7, в мясной и молочной продукции животного происхождения. Для анализа использованы бактериологические и биохимические методы, хромогенные среды (CHROMagar TBX, CHROMagar STEC, CHROMagar O157), а также мультиплексная ПЦР в реальном времени для выявления генов stx1 и stx2. Всего исследовано 370 образцов мясной и молочной продукции, из которых выделено 94 изолята *E. coli*. Наибольшая контаминация отмечена в мясной продукции (32,2 %), особенно в свинине, мясе птицы и полуфабрикатах, где уровень обсеменённости превышал 40 %. В молочной продукции контаминация составила

13,6 %, преимущественно в коровьем молоке и сметане. Из 94 изолятов 67 (71,3 %) обладали токсигенными свойствами, включая 36 STEC (38,3 %) и 31 O157:H7 (33,0 %). Применение мультиплексной ПЦР подтвердило высокую чувствительность и специфичность метода при идентификации генов stx. Полученные результаты свидетельствуют о значительном эпидемиологическом риске сырьевой мясной продукции и непастеризованного молока, подчёркивая необходимость регулярного микробиологического мониторинга, строгого санитарного контроля и пастеризации молочных продуктов.

ANNOTATION

This study presents a comprehensive identification of toxigenic *E. coli* (STEC), including the O157:H7 serotype, in meat and dairy products of animal origin. Bacteriological and biochemical methods, chromogenic media (CHROMagar TBX, CHROMagar STEC, CHROMagar O157), as well as multiplex real-time PCR for the detection of stx1 and stx2 genes were used for analysis. A total of 370 samples of meat and dairy products were examined, from which 94 *E. coli* isolates were obtained. The highest contamination was observed in meat products (32.2%), particularly in pork, poultry, and semi-finished products, where the contamination level exceeded 40%. In dairy products, contamination reached 13.6%, mainly in cow's milk and sour cream. Of the 94 isolates, 67 (71.3%) possessed toxigenic properties, including 36 STEC (38.3%) and 31 O157:H7 (33.0%). The application of multiplex real-time PCR confirmed the high sensitivity and specificity of the method in identifying stx genes. The results indicate a significant epidemiological risk associated with raw meat products and unpasteurized milk, emphasizing the need for regular microbiological monitoring, strict sanitary control, and pasteurization of dairy products.

Ключевые слова: *E. coli, STEC, O157:H7, пищевая безопасность, контаминация, мясная продукция, молочная продукция.*

Key words: *E. coli, STEC, O157:H7, food safety, contamination, meat products, dairy products.*

Введение. Шига-токсин-продуцирующий *E. coli* (STEC), особенно серотип O157:H7, является значимым пищевым патогеном и серьёзной угрозой для здоровья [1-3]. С 1982 года зарегистрировано более 39 787 случаев, связанных с 1 343 вспышками [3]. Особое значение имеет тот факт, что вспышки, вызванные STEC O157:H7, сопровождаются значительно более высокими уровнями госпитализации и частотой развития гемолитико-уремического синдрома и неврологических осложнений по сравнению с не-O157 штаммами, что подчёркивает его повышенную эпидемиологическую опасность [4-6]. Кроме того, штаммы STEC обладают широким спектром факторов вирулентности, включая вариации шигатоксинов, устойчивость к антибиотикам и способность к образованию биоплёнок, что способствует их длительной персистенции и увеличивает риски для общественного здравоохранения [7]. Вирулентность обусловлена продукцией шигатоксинов и присутствием специфических геномных островков [8]. Основные пути передачи - пищевые продукты, преимущественно овощи и говядина [4, 9]. Сельскохозяйственные жвачные животные являются ключевыми резервуарами STEC и могут выступать в качестве бессимптомных носителей, способствуя циркуляции и распространению патогена[10]. Таким образом STEC, в особенности серотип O157:H7, представляют серьёзную угрозу пищевой безопасности из-за высокой вирулентности и способности вызывать тяжёлые заболевания.

Целью настоящего исследования являлся комплексный анализ присутствия STEC, включая серотип O157:H7, в пищевых продуктах животного происхождения с использованием бактериологических и биохимических методов, хромогенных сред и ПЦР для выявления генов stx, с целью оценки риска пищевой безопасности.

Материалы и методы. Объекты исследования: образцы мясной и молочной продукции животного происхождения из объектов розничной торговли г. Костанай использовались для выявления *E. coli* и токсигенных форм STEC, включая O157:H7. Мясная продукция включала мясо, полуфабрикаты и готовые продукты; молочная - молоко, сметану, творог и сыр.

Бактериологические методы: образцы животноводческой продукции разводили в соотношении 1:5 и засеивали на мясо-пептонный бульон и простую питательную среду с инкубацией при 37 °C в течение 24 часов [11]. Затем выполняли пересев на дифференциальные среды Эндо и CHROMagar TBX (CHROMagar, Франция) [12]. После 18-24 ч инкубации при 37 °C (Эндо) и 44 °C (CHROMagar TBX) регистрировали рост типичных для E. coli колоний: круглые синие на CHROMagar TBX и красные лактозоположительные с металлическим блеском на среде Эндо [13].

Биохимические тесты: реакция на оксидазу, образование индола и ацетоина, продукция сероводорода, утилизация цитратов, ферментация глюкозы, лактозы и сорбита. Все штаммы оказались грамотрицательными, оксидазоотрицательными, индолположительными, не продуцировали сероводород и ацетоин, не утилизировали цитраты и активно ферментировали глюкозу и лактозу [14, 15].

Идентификация STEC и серотипа O157:H7: использовали хромогенные среды CHROMagar STEC и CHROMagar O157 (CHROMagar, Франция). После 18-24 ч инкубации при 37 °C колонии окрашивались в лиловый цвет, указывая на продукцию шигатоксинов и веротоксинов (рисунок 1, 2) [16, 17].

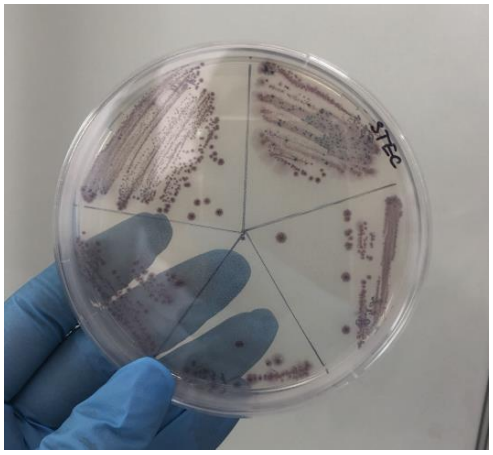

Рисунок 1 – Колонии shiga-токсин-продуцирующих E. coli (STEC) на среде CHROMagar STEC

Рисунок 2 – Колонии E. coli O157 на среде CHROMagar O157

Молекулярные методы: Для выявления генов шигатоксина (stx) применяли мультиплексную real-time ПЦР. Праймеры и зонды. В работе использованы праймеры (таблица 1) и зонды (таблица 2), а также параметры ПЦР, описанные в исследовании Tanis McMahon [18], разработанные на основе выравнивания последовательностей подтипов stx, представленных в исследовании Flemming Scheutz [19], а также дополнительных последовательностей для stx1e, stx2h, stx2i, stx2j, stx2k, stx2l и stx2o (GenBank: KF926684, CP022279, FN252457, MZ571121, CP041435, AM904726, MZ229604).

Таблица 1 – Последовательности праймеров для ПЦР в реальном времени, направленной на гены stx

Тип	**Праймер**	**Последовательность 5′- > 3′**	**Размер ампликона (п.н.)**
1	2	3	4
stx1	vtxl-F	TTATCGCTTTGCTGATTTTTCAC	166
	vtxll-R	ATACGACATCAAATCCAGATAAGA	
	vtxlll-R	ATGCGACATTAAATCCAGATAAGA	
stx2 1	vtxll-F	TACAGATTTTCGGATTTTGCG	169 4
	vtxlll-F	TTACAGATTCTCCGATTTCTCAC	
	2	3	
	vtxlV-F	CTACAGGTTTTCAGATTTTGCAC	
	vtxV-F	CTACCGTTTTTCAGATTTTACAC	
	vtxl-R	CTCCATTAAATCCAGATATGAACC	
	vtxlV-R	CTCCATTAACGCCAGATATGATG	
ПКО	IPC-F	CGCGAGATACACTGCCAGAA	65
	IPC-R	GACCACAGCCAGATTAAATTTACCA	

Таблица 2 – Последовательности зондов для ПЦР в реальном времени stx

Тип	Зонды	Флуорофор	Последовательность 5′ → 3′	Целевые подтипы stx
stx1	vtxI-P	FAM	TACAAGAGCGGTTACATTGTCTGGTGAC AGTA	1a, 1d, 1e
	vtxIV-P	FAM	TACAACTGCGGTTACATTGTCTGGTGAC AGTA	1c
stx2	vtxII-P	FAM	TGTGACAACTATTTCCATGACAACGGAC AGCA	2e, 2f, 2h, 2i, 2k, 2l
	vtxIII-P	FAM	TGTGACAACGGTTTCCATGACAACGGA CAGCA	2a-2d, 2g, 2j, 2m-o
ПКО	IPC-Pa, b	HEX	TCCGCGTGATTACG	

Контроль качества: в качестве положительного контроля (ПКО) использовали плазмидные вектора pTG19-T содержащие целевой участок гена E. coli последовательности stx2a (регистрационный номер GenBank X07865). На данном этапе проведены следующие процессы: амплификация фрагмента при помощи ПЦР; проведение электрофореза в агарозном геле; очистка ПЦР смеси по протоколу QIAqick 28104; проведение лигирования pTG19-T и фрагмента ДНК; трансформация плазмиды в *E. coli* в штамм DH5α; ПЦР скрининг плазмид с праймерами, получение и выделение плазмидных конструкций. Канал FAM использовался для детекции генов stx. Канал HEX применялся для ПКО. Отсутствие сигнала одновременно по stx (FAM) и ПКО (HEX) интерпретировалось как потенциальный ложноотрицательный результат. Наличие сигнала ПКО свидетельствовало об успешной амплификации и корректности постановки реакции.

Интерпретация результатов произведена с помощью программного обеспечения для анализа флуоресцентных сигналов QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific).

Результаты. В ходе микробиологического мониторинга было исследовано 370 образцов пищевой продукции, включая 230 образцов мясной и 140 образцов молочной продукции. В результате бактериологического анализа было выделено 94 изолята *E. coli*. Наибольший вклад в контаминацию вносила мясная продукция: из 230 образцов положительными оказались 74 (32,2 %), тогда как среди 140 образцов молочной продукции *E. coli* выявлена в 19 случаях (13,6 %) (таблица 3, 4).

Таблица 3 – Мясная продукция

Вид продукции	Кол-во образцов	Положительных	Контаминация (%)	Доля от всех образцов (%)	Доля от всех положительных (%)
1	2	3	4	5	6
Мясо птицы	60	24	40	26,1	32,4
Свинина	35	15	42,9	15,2	20,3
Говядина	55	16	29,1	23,9	21,6
1	2	3	4	5	6
Конина	23	6	26,1	10	8,1
Баранина	18	3	16,7	7,8	4,1
Полуфабрикаты	25	10	40	10,9	13,5
Готовые продукты (колбасы и др.)	14	0	0	6,1	0
Итого	230	74	32,2	100	100

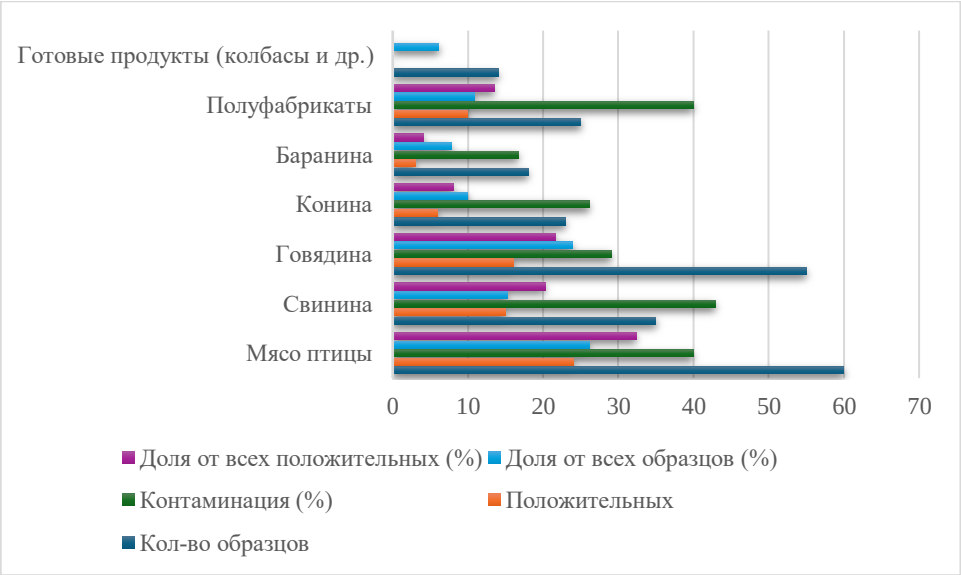

Рисунок 3 – Сравнительный анализ контаминации *E. coli* в мясной продукции

В мясной группе наибольшая обсеменённость *E. coli* отмечена в образцах свинины (42,9 %), мяса птицы (40,0 %) и полуфабрикатов (40,0 %). Существенно ниже уровень контаминации был зафиксирован в говядине (29,1 %), конине (26,1 %), баранине (16,7 %). В образцах готовой к употреблению продукции (колбасы и др.) *E. coli* не выявлена, что свидетельствует об эффективности термической обработки и соблюдении технологических параметров производства. Наибольший вклад в общее число положительных находок внесли мясо птицы (32,4 %), говядина (21,6 %) и свинина (20,3 %).

Таблица 4 – Молочная продукция

Вид продукции	Кол-во образцов	Положительных	Контаминация (%)	Доля от всех образцов (%)	Доля от всех положительных (%)
Коровье молоко	68	10	14,7	48,6	52,6
Кобылье молоко	10	0	0	7,1	0
Сметана	20	5	25	14,3	26,3
Творог	19	2	10,5	13,6	10,5
Сыр	13	1	7,7	9,3	5,3
Другое (курт и др.)	10	1	10	7,1	5,3
Итого	140	19	13,6	100	100

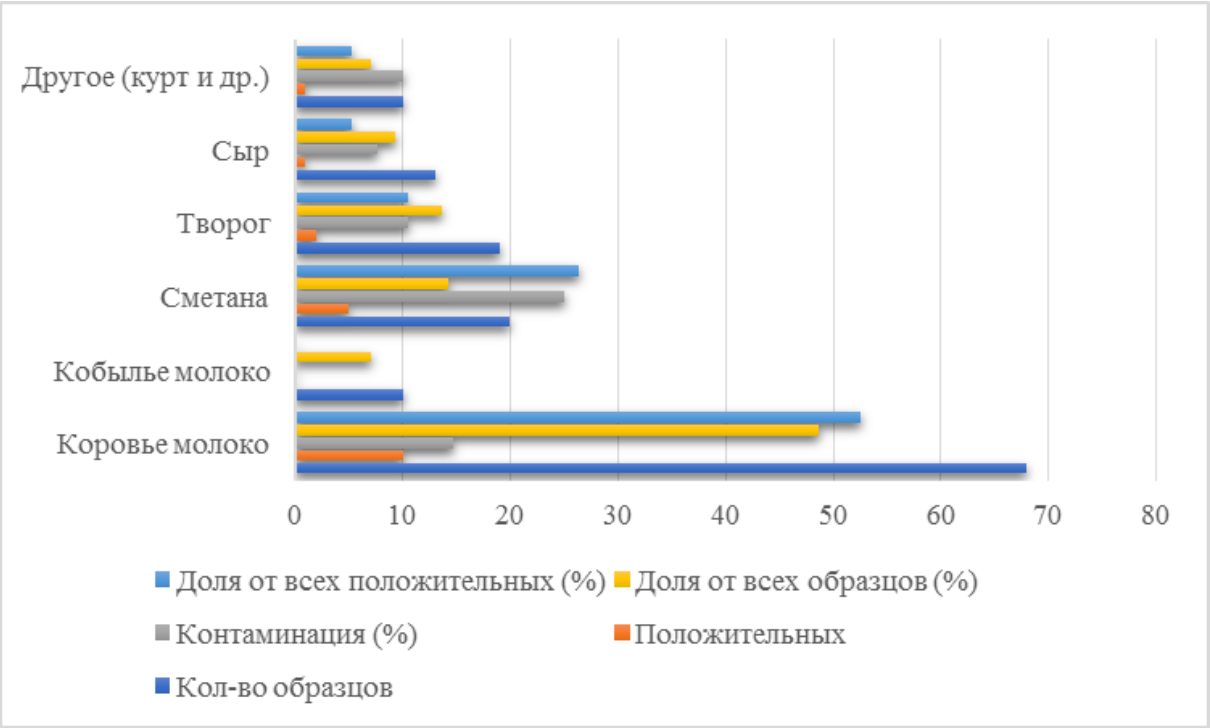

Рисунок 4 – Сравнительный анализ контаминации *E. coli* в молочной продукции

В молочной продукции наибольший уровень контаминации зарегистрирован в сметане (25,0 %) и коровьем молоке (14,7 %). В образцах творога, сыра, кобыльего молока и ферментированных продуктов (курт и др.) уровень контаминации варьировал от 0 % до 10,5 %. Кобылье молоко оказалось микробиологически безопасным в рамках данной выборки. Наибольший вклад в общее число положительных находок в молочной группе внесли коровье молоко (52,6 %) и сметана (26,3 %).

Из 93 выделенных изолятов *E. coli* 67 (72 %) обладали токсигенными свойствами. Среди них shiga-токсинпродуцирующие штаммы (STEC) составили 38,3 % (36 изолятов), а серотип *E. coli* O157:H7 - 33,0 % (31 изолят).

Таблица 5 – Распределение токсигенных изолятов *E. coli* по видам продукции

Вид продукции	Токсигенные изоляты (n)	STEC (n)	O157:H7 (n)
Мясо птицы	14	8	6
Свинина	10	6	4
Говядина	9	5	4
Полуфабрикаты	8	5	3
Конина	5	3	2
Баранина	2	1	1
Коровье молоко	7	4	3
Сметана	4	2	2
Творог	2	1	1
Сыр	1	1	0
Другое (курт и др.)	1	0	1
Итого	67	36	31

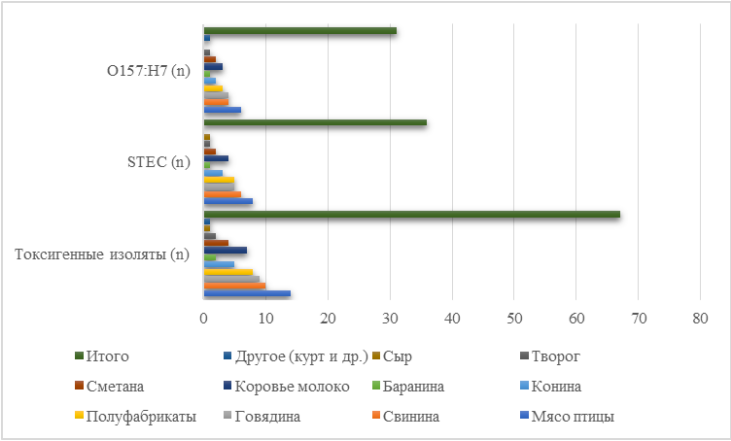

Рисунок 5 – Сравнительный анализ распределения токсигенных изолятов *E. coli* по видам продукции

Из 94 выделенных изолятов *E. coli* 67 (71,3%) обладали токсигенными свойствами. Среди них shiga-токсинпродуцирующие штаммы (STEC) составили 36 (38,3%), а серотип *E. coli* O157:H7 - 31 (33,0%). Наибольшее количество токсигенных изолятов было обнаружено в мясной продукции, особенно в мясе птицы (14), свинине (10), говядине (9) и полуфабрикатах (8). Эти категории внесли основной вклад в общее число STEC и O157:H7, что согласуется с их высоким уровнем контаминации.

В мясе птицы преобладали STEC (8), тогда как в свинине и говядине наблюдалось более равномерное распределение между STEC и O157:H7. В полуфабрикатах также преобладали shiga-токсинпродуцирующие штаммы. Конина и баранина дали меньшее количество токсигенных изолятов (5 и 2 соответственно), но сохраняли присутствие обоих типов вирулентности.

Среди молочной продукции токсигенные изоляты были выявлены преимущественно в коровьем молоке (7) и сметане (4), что подтверждает эпидемиологическую значимость этих продуктов при недостаточной термической обработке. В твороге, сыре и ферментированных продуктах (курт и др.) токсигенные штаммы встречались единично (по 1-2 случая), а в кобыльем молоке не обнаружены вовсе.

Мультиплексная ПЦР в реальном времени позволила выявить гены stx1 и stx2 у 67 из 94 изолятов *E. coli*, что составило 71,3 % от общего числа. Из них 36 изолятов (38,3 %) были идентифицированы как shiga-токсинпродуцирующие штаммы (STEC), а 31 изолят (33,0%) принадлежал к серотипу *E. coli* O157:H7 (рисунок 6).

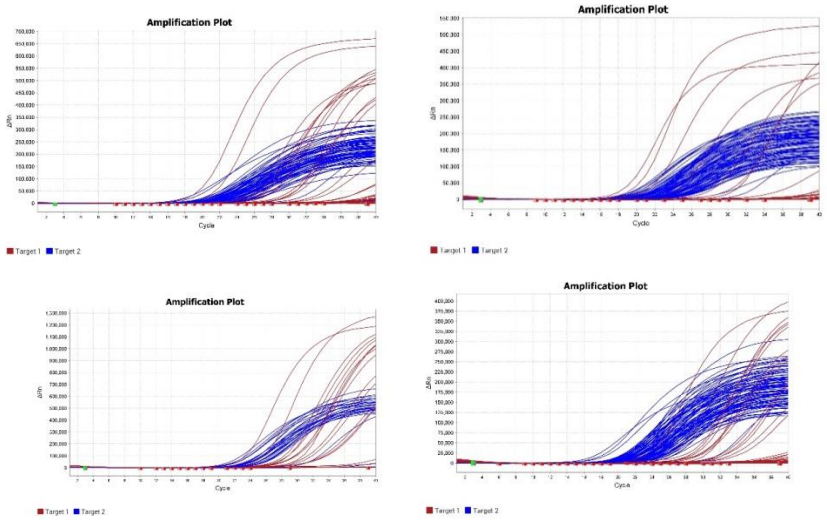

Рисунок 6 – Кривые амплификации мультиплексной ПЦР в реальном времени для выявления генов stx1 и stx2 у изолятов *E. coli*

Все зонды для stx были мечены флуорофором FAM (Target 1), а зонд внутреннего положительного контроля - HEX (Target 2). Внутренний контроль был положительным во всех реакциях, что подтверждает корректность постановки ПЦР и отсутствие ингибирования.

Положительные сигналы по FAM наблюдались в 67 реакциях, при этом, у 36 изолятов амплифицировались участки, соответствующие stx2a-2o, с преобладанием сигнала от зонда vtxIII-P (целевые подтипы 2a-2d, 2g, 2j, 2m-2o); у 31 изолята детектированы участки stx1, преимущественно с использованием зонда vtxI-P (целевые подтипы 1a, 1d, 1e).

Ни в одном случае не наблюдалось одновременного отсутствия сигнала по FAM и HEX, что исключает вероятность ложноотрицательных результатов. Таким образом, методика продемонстрировала высокую чувствительность и специфичность при выявлении токсигенных штаммов *E. coli*.

Обсуждение. Исследование показало, что мясная продукция является основным источником контаминации *E. coli*, особенно свинина, мясо птицы и полуфабрикаты, где уровень обсеменённости превышал 40% [20,21]. Отсутствие бактерий в готовых изделиях подтверждает эффективность термической обработки [22]. В молочной продукции контаминация была ниже, но эпидемиологически значимыми оказались коровье молоко и сметана, на которые приходилось большинство положительных результатов [23].

Высокая доля токсигенных изолятов (STEC и O157 в сумме 72 %) указывает на значительный эпидемиологический потенциал *E. coli* в мясной и молочной продукции региона. Обнаружение штаммов, продуцирующих shiga- и веротоксины, подтверждает риск развития тяжёлых кишечных инфекций, включая геморрагический колит и гемолитико-уремический синдром. Эти данные подчёркивают необходимость регулярного микробиологического мониторинга пищевых продуктов с целью выявления STEC и серотипа O157 [24-26].

Анализ токсигенных свойств выявил, что более 70 % изолятов обладали генами stx, при этом STEC и серотип O157:H7 чаще встречались в мясной продукции [27]. В молочной группе токсигенные штаммы обнаружены преимущественно в коровьем молоке и сметане [23, 28, 29].

Применение мультиплексной ПЦР подтвердило высокую чувствительность метода: положительные сигналы по FAM регистрировались во всех токсигенных изолятах, а наличие внутреннего контроля (HEX) исключало ложноотрицательные результаты.

Таким образом, сырьевая мясная продукция и непастеризованное молоко представляют наибольший эпидемиологический риск, что подчёркивает необходимость строгого санитарного контроля и пастеризации.

Заключение. Проведённое исследование показало, что мясная продукция является основным источником контаминации *E. coli*, особенно свинина, мясо птицы и полуфабрикаты, где уровень обсеменённости превышал 40%. В молочной продукции наибольший эпидемиологический риск связан с коровьим молоком и сметаной. Из 94 выделенных изолятов *E. coli* 67 (71,3%) обладали токсигенными свойствами, включая STEC и серотип O157:H7. Сравнение методов выявило, что мультиплексная ПЦР в реальном времени обладает наибольшей чувствительностью и специфичностью при идентификации генов stx, тогда как культуральные и биохимические методы остаются важными для подтверждения жизнеспособности и фенотипической характеристики штаммов. Полученные результаты подчёркивают необходимость комплексного подхода к мониторингу пищевой продукции, включающего сочетание классических микробиологических и молекулярных методов, а также строгий санитарный контроль и пастеризацию молочных продуктов.

Информация о финансировании. Исследования выполнены в рамках исполнения проекта ИРН BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Zhang H., Yamamoto E., Murphy J., Carrillo C., Locas A. Shiga Toxin–Producing *E. coli* (STEC) and STEC-Associated Virulence Genes in Raw Ground Pork in Canada // Journal of Food Protection. – 2021. – Т. 84, № 11. – С. 1956-1964.

2 Shiga Toxin-Producing *E. coli*, an Important Foodborne Pathogens of Public Health Concern. / Ghimire N., 2025.

3 Alhadlaq M.A., Aljurayyad O.I., Almansour A., Al-Akeel S. I., Alzahrani K.O., Alsalman S.A., Yahya R., Al-Hindi R. R., Hakami M. A., Alshahrani S. D., Alhumeed N. A., Al Moneea A. M., Al-Seghayer M.S., AlHarbi A.L., Al-Reshoodi F. M., Alajel S. Overview of pathogenic *E. coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria // Gut Pathogens. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 57.

4 Tack D.M., Kisselburgh H.M., Richardson L.C., Geissler A., Griffin P.M., Payne D.C., Gleason B.L. Shiga Toxin-Producing *E. coli* Outbreaks in the United States, 2010-2017 //. – 2021. – Т. 9, № 7.

5 Gambushe S.M., Zishiri O.T. Review of *E. coli* O157:H7 Prevalence, Pathogenicity, Heavy Metal and Antimicrobial Resistance, African Perspective //. – 2022. – Т. 15. – С. 4645-4673.

6 Rahal E.A., Kazzi N., Nassar F.J., Matar G.M. *E. coli* O157:H7—Clinical aspects and novel treatment approaches // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2012. – Т. Volume 2 - 2012.

7 Tharakupeedikayil Abdul Majeed S., K S. Pathogenic Factors of Shiga Toxigenic *E. coli* // Journal of Pure and Applied Microbiology. – 2024. – Т. 18.

8 Jiang L., Yang W., Jiang X., Yao T., Wang L., Yang B. Virulence-related O islands in enterohemorrhagic *E. coli* O157:H7 // Gut Microbes. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 1992237.

9 Altaie H.A.A., Gdoura Ben Amor M., Mohammed B.A., Gdoura R. Detection and Characterization of *E. coli* and *E. coli* O157:H7 in Human, Animal, and Food Samples from Kirkuk Province, Iraq // Microbiology Research. – 2025. – Т. 16, № 1. – С. 20.

10 Ray R., Singh P. Prevalence and Implications of Shiga Toxin-Producing *E. coli* in Farm and Wild Ruminants // Pathogens. – 2022. – Т. 11, № 11. – С. 1332.

11 Chen C., Coronel-Aguilera C. P. Studies on Simultaneous Enrichment and Detection of *E. coli* O157:H7 during Sample Shipment //. – 2022. – Т. 11, № 22.

12 Kemper M.A., Veenman C., Blaak H. A membrane filtration method for the enumeration of *E. coli* in bathing water and other waters with high levels of background bacteria //. – 2023. – Т. 21, № 8. – С. 995-1003.

13 Ibrahim D.R., Dodd C.E., Stekel D. J., Ramsden S.J., Hobman J.L. Multidrug resistant, extended spectrum β-lactamase (ESBL)-producing *E. coli* isolated from a dairy farm // FEMS Microbiol Ecol. – 2016. – Т. 92, № 4. – С. fiw013.

14 Kaper J.B., Nataro J.P., Mobley H.L.T. Pathogenic *E. coli* // Nature Reviews Microbiology. – 2004. – Т. 2, № 2. – С. 123-140.

15 ГОСТ 30726-2001. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *E. coli*. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 12 с.

16 Hirvonen Jari J., Siitonen A., Kaukoranta S.-S. Usability and Performance of CHROMagar STEC Medium in Detection of Shiga Toxin-Producing *E. coli* Strains // Journal of Clinical Microbiology. – 2012. – Т. 50, № 11. – С. 3586-3590.

17 Jenkins C., Perry N. T., Godbole G., Gharbia S. Evaluation of chromogenic selective agar (CHROMagar STEC) for the direct detection of Shiga toxin-producing *E. coli* from faecal specimens // Journal of medical microbiology. – 2020. – Т. 69, № 3. – С. 487-491.

18 McMahon T., Clarke S., Deschênes M., Tapp K., Blais B., Gill A. Real-time PCR primers and probes for the detection of Shiga toxin genes, including novel subtypes // International Journal of Food Microbiology. – 2024. – Т. 419. – С. 110744.

19 Scheutz F., Teel Louise D., Beutin L., Piérard D., Buvens G., Karch H., Mellmann A., Caprioli A., Tozzoli R., Morabito S., Strockbine Nancy A., Melton-Celsa Angela R., Sanchez M., Persson S., O'Brien Alison D. Multicenter Evaluation of a Sequence-Based Protocol for Subtyping Shiga Toxins and Standardizing Stx Nomenclature // Journal of Clinical Microbiology. – 2012. – Т. 50, № 9. – С. 2951-2963.

20 Zhao S., Blickenstaff K., Bodeis-Jones S., Gaines S.A., Tong E., McDermott P.F. Comparison of the prevalences and antimicrobial resistances of *E. coli* isolates from different retail meats in the United States, 2002 to 2008 // Appl Environ Microbiol. – 2012. – Т. 78, № 6. – С. 1701-7.

21 Lee K.Y., Lavelle K., Huang A., Atwill E.R., Pitesky M. Assessment of Prevalence and Diversity of Antimicrobial Resistant *E. coli* from Retail Meats in Southern California //. – 2023. – Т. 12, № 4.

22 Lindqvist R., Lindblad M. Inactivation of *E. coli*, Listeria monocytogenes and Yersinia enterocolitica in fermented sausages during maturation/storage // Int J Food Microbiol. – 2009. – Т. 129, № 1. – С. 59-67.

23 Ranjbar R., Safarpoor Dehkordi F., Sakhaei Shahreza M. H., Rahimi E. Prevalence, identification of virulence factors, O-serogroups and antibiotic resistance properties of Shiga-toxin producing *E. coli* strains isolated from raw milk and traditional dairy products // Antimicrob Resist Infect Control. – 2018. – Т. 7. – С. 53.

24 EFSA Journal - 2023 - - The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. / Ciervo A., 2023.

25 Kuzeubayeva A., Ussenbayev A., Aydin A., Akanova Z., Rychshanova R., Abdullina E., Seitkamzina D., Sakharia L., Ruzmatov S. Contamination of Kazakhstan cheeses originating from *E. coli* and its resistance to antimicrobial drugs // Vet World. – 2024. – T. 17, № 2. – C. 361-370.

26 Abdelmonem M., Kelany M., Fawzy M., Sheta R., Ageez A., Abd El-Moez S. Detection of SHIGA-TOXIN producing *E. coli* in some retail markets in Egypt using qPCR assay with special reference to serotyping // Advances in Environmental Biology. – 2022. – T. 16. – C. 1-12.

27 Islam M.A., Mondol A.S., Azmi I.J., de Boer E., Beumer R. R., Zwietering M. H., Heuvelink A. E., Talukder K. A. Occurrence and characterization of Shiga toxin-producing *E. coli* in raw meat, raw milk, and street vended juices in Bangladesh // Foodborne Pathog Dis. – 2010. – T. 7, № 11. – C. 1381-5.

28 Elafify M., Khalifa H. O. Prevalence and antimicrobial resistance of Shiga toxin-producing *E. coli* in milk and dairy products in Egypt //. – 2020. – T. 55, № 3. – C. 265-272.

29 Chaleshtori F.S., Arani N.M., Aghadavod E., Naseri A., Chaleshtori R.S. Molecular characterization of *E. coli* recovered from traditional milk products in Kashan, Iran // Vet World. – 2017. – T. 10, № 10. – C. 1264-1268.

REFERENCES

1 Zhang H., Yamamoto E., Murphy J., Carrillo C., Locas A. Shiga Toxin–Producing *E. coli* (STEC) and STEC-Associated Virulence Genes in Raw Ground Pork in Canada // Journal of Food Protection. – 2021. – T. 84, № 11. – C. 1956-1964.

2 Shiga Toxin-Producing *E. coli*, an Important Foodborne Pathogens of Public Health Concern. / Ghimire N., 2025.

3 Alhadlaq M.A., Aljurayyad O.I., Almansour A., Al-Akeel S.I., Alzahrani K.O., Alsalman S. A., Yahya R., Al-Hindi R. R., Hakami M. A., Alshahrani S. D., Alhumeed N. A., Al Moneea A. M., Al-Seghayer M. S., AlHarbi A. L., Al-Reshoodi F. M., Alajel S. Overview of pathogenic *E. coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria // Gut Pathogens. – 2024. – T. 16, № 1. – C. 57.

4 Tack D.M., Kisselburgh H. M., Richardson L. C., Geissler A., Griffin P. M., Payne D. C., Gleason B. L. Shiga Toxin-Producing *E. coli* Outbreaks in the United States, 2010-2017 //. – 2021. – T. 9, № 7.

5 Gambushe S. M., Zishiri O. T. Review of *E. coli* O157:H7 Prevalence, Pathogenicity, Heavy Metal and Antimicrobial Resistance, African Perspective //. – 2022. – T. 15. – C. 4645-4673.

6 Rahal E. A., Kazzi N., Nassar F. J., Matar G. M. *E. coli* O157:H7—Clinical aspects and novel treatment approaches // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2012. – T. Volume 2 - 2012.

7 Tharakupeedikayil Abdul Majeed S., K S. Pathogenic Factors of Shiga Toxigenic *E. coli* // Journal of Pure and Applied Microbiology. – 2024. – T. 18.

8 Jiang L., Yang W., Jiang X., Yao T., Wang L., Yang B. Virulence-related O islands in enterohemorrhagic *E. coli* O157:H7 // Gut Microbes. – 2021. – T. 13, № 1. – C. 1992237.

9 Altaie H.A.A., Gdoura Ben Amor M., Mohammed B.A., Gdoura R. Detection and Characterization of *E. coli* and *E. coli* O157:H7 in Human, Animal, and Food Samples from Kirkuk Province, Iraq // Microbiology Research. – 2025. – T. 16, № 1. – C. 20.

10 Ray R., Singh P. Prevalence and Implications of Shiga Toxin-Producing *E. coli* in Farm and Wild Ruminants // Pathogens. – 2022. – T. 11, № 11. – C. 1332.

11 Chen C., Coronel-Aguilera C. P. Studies on Simultaneous Enrichment and Detection of *E. coli* O157:H7 during Sample Shipment //. – 2022. – T. 11, № 22.

12 Kemper M. A., Veenman C., Blaak H. A membrane filtration method for the enumeration of *E. coli* in bathing water and other waters with high levels of background bacteria //. – 2023. – T. 21, № 8. – C. 995-1003.

13 Ibrahim D.R., Dodd C. E., Stekel D.J., Ramsden S.J., Hobman J.L. Multidrug resistant, extended spectrum β-lactamase (ESBL)-producing *E. coli* isolated from a dairy farm // FEMS Microbiol Ecol. – 2016. – T. 92, № 4. – C. fiw013.

14 Kaper J. B., Nataro J. P., Mobley H. L. T. Pathogenic *E. coli* // Nature Reviews Microbiology. – 2004. – T. 2, № 2. – C. 123-140.

15 GOST 30726-2001. Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i opredelenija kolichestva bakterij vida E. coli. – Moskva: Standartinform, 2001. – 12 c.

16 Hirvonen Jari J., Siitonen A., Kaukoranta S.-S. Usability and Performance of CHROMagar STEC Medium in Detection of Shiga Toxin-Producing *E. coli* Strains // Journal of Clinical Microbiology. – 2012. – T. 50, № 11. – C. 3586-3590.

17 Jenkins C., Perry N.T., Godbole G., Gharbia S. Evaluation of chromogenic selective agar (CHROMagar STEC) for the direct detection of Shiga toxin-producing *E. coli* from faecal specimens // Journal of medical microbiology. – 2020. – Т. 69, № 3. – С. 487-491.

18 McMahon T., Clarke S., Deschênes M., Tapp K., Blais B., Gill A. Real-time PCR primers and probes for the detection of Shiga toxin genes, including novel subtypes // International Journal of Food Microbiology. – 2024. – Т. 419. – С. 110744.

19 Scheutz F., Teel Louise D., Beutin L., Piérard D., Buvens G., Karch H., Mellmann A., Caprioli A., Tozzoli R., Morabito S., Strockbine Nancy A., Melton-Celsa Angela R., Sanchez M., Persson S., O'Brien Alison D. Multicenter Evaluation of a Sequence-Based Protocol for Subtyping Shiga Toxins and Standardizing Stx Nomenclature // Journal of Clinical Microbiology. – 2012. – Т. 50, № 9. – С. 2951-2963.

20 Zhao S., Blickenstaff K., Bodeis-Jones S., Gaines S.A., Tong E., McDermott P.F. Comparison of the prevalences and antimicrobial resistances of *E. coli* isolates from different retail meats in the United States, 2002 to 2008 // Appl Environ Microbiol. – 2012. – Т. 78, № 6. – С. 1701-7.

21 Lee K.Y., Lavelle K., Huang A., Atwill E.R., Pitesky M. Assessment of Prevalence and Diversity of Antimicrobial Resistant *E. coli* from Retail Meats in Southern California //. – 2023. – Т. 12, № 4.

22 Lindqvist R., Lindblad M. Inactivation of *E. coli*, Listeria monocytogenes and Yersinia enterocolitica in fermented sausages during maturation/storage // Int J Food Microbiol. – 2009. – Т. 129, № 1. – С. 59-67.

23 Ranjbar R., Safarpoor Dehkordi F., Sakhaei Shahreza M. H., Rahimi E. Prevalence, identification of virulence factors, O-serogroups and antibiotic resistance properties of Shiga-toxin producing *E. coli* strains isolated from raw milk and traditional dairy products // Antimicrob Resist Infect Control. – 2018. – Т. 7. – С. 53.

24 EFSA Journal – 2023 – The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. / Ciervo A., 2023.

25 Kuzeubayeva A., Ussenbayev A., Aydin A., Akanova Z., Rychshanova R., Abdullina E., Seitkamzina D., Sakharia L., Ruzmatov S. Contamination of Kazakhstan cheeses originating from *E. coli* and its resistance to antimicrobial drugs // Vet World. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 361-370.

26 Abdelmonem M., Kelany M., Fawzy M., Sheta R., Ageez A., Abd El-Moez S. Detection of SHIGA-TOXIN producing *E. coli* in some retail markets in Egypt using qPCR assay with special reference to serotyping // Advances in Environmental Biology. – 2022. – Т. 16. – С. 1-12.

27 Islam M.A., Mondol A.S., Azmi I.J., de Boer E., Beumer R. R., Zwietering M. H., Heuvelink A. E., Talukder K. A. Occurrence and characterization of Shiga toxin-producing *E. coli* in raw meat, raw milk, and street vended juices in Bangladesh // Foodborne Pathog Dis. – 2010. – Т. 7, № 11. – С. 1381-5.

28 Elafify M., Khalifa H.O. Prevalence and antimicrobial resistance of Shiga toxin-producing *E. coli* in milk and dairy products in Egypt //. – 2020. – Т. 55, № 3. – С. 265-272.

29 Chaleshtori F.S., Arani N.M., Aghadavod E., Naseri A., Chaleshtori R. S. Molecular characterization of *E. coli* recovered from traditional milk products in Kashan, Iran // Vet World. – 2017. – Т. 10, № 10. – С. 1264-1268.

ТҮЙІН

Жұмыста жануарлардан алынатын ет және сүт өнімдеріндегі O157:H7 серотипін қоса алғанда, E. coli (STEC) токсигендік нысандарын кешенді сәйкестендіру жүргізілді. Талдау үшін бактериологиялық және биохимиялық әдістер, хромогендік орталар (CHROMagar TBX, CHROMagar STEC, CHROMagar O157), stx1 және stx2 гендерін анықтау үшін нақты уақыттағы мультиплексті ПТР қолданылады. Барлығы 370 ет және сүт өнімдерінің үлгілері зерттелді, олардың 94 E. coli изоляттары бөлінді. Ең көп ластану ет өнімдерінде (32,2 %), әсіресе шошқа етінде, құс етінде және жартылай фабрикаттарда байқалды, онда ұрықтану деңгейі 40% - дан асты. Сүт өнімдерінде ластану негізінен сиыр сүті мен қаймақта 13,6% құрады. 94 изоляттың 67-сі (71,3 %) токсигендік қасиеттерге ие болды, оның ішінде 36 STEC (38,3 %) және 31 O157:H7 (33,0 %). Мультиплексті ПТР қолдану stx гендерін анықтау кезінде әдістің жоғары сезімталдығы мен ерекшелігін растады. Нәтижелер шикі ет өнімдері мен пастерленбеген сүттің эпидемиологиялық қаупін көрсетеді, бұл тұрақты микробиологиялық мониторинг, қатаң санитарлық бақылау және сүт өнімдерін пастерлеу қажеттілігін көрсетеді.