

## Натамицин в продукции виноделия: механизм действия, активность, идентификация, удаление

Абакумова А.А., Шелудько О.Н.✉

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Краснодар, Российская Федерация

✉scheludcko.olga@yandex.ru

**Аннотация.** Продукция виноделия содержит в своем составе широкий спектр биологически активных компонентов, обуславливающих высокую пищевую ценность. Кроме того, в настоящее время отмечен значительный интерес к безалкогольным винам как продукту здорового питания. Однако стабильность таких вин к микробиологической порче снижена за счет отсутствия в составе этанола, что создает риски неконтролируемого внесения в продукцию новых консервантов. Одним из них является натамицин, широко используемый в пищевой промышленности. В виноделии для подавления жизнедеятельности плесени и дрожжей рядом стран регламентирована концентрация консерванта до 20 мг/л. В Российской Федерации натамицин не разрешен в виноделии. Однако его высокая эффективность и широкий спектр действия против многих видов плесени и дрожжей, а также отсутствие регулируемых методов его идентификации могут привести к неконтролируемому применению данного консерванта для определенной группы продукции виноделия. Проанализированы результаты исследований, изложенные в научных публикациях ведущих специализированных журналов по виноделию, микробиологии и пищевой химии по вопросу применения натамицина в пищевой промышленности. Рассмотрены способы его попадания в виноградное сырье, воздействие на компонентный состав. Установлено два пути попадания натамицина в продукцию виноделия: прямое внесение в качестве замены диоксида серы, сорбата калия и косвенный путь попадания через обработку емкостей и поверхностей производственных помещений. Описан механизм действия натамицина. Рассмотрены современные методы его контроля. Показаны преимущества высокоэффективного капиллярного электрофореза, позволяющего определять натамицин массовой концентрацией от 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Рассмотрены способы удаления натамицина из продукции виноделия. Отмечено, что полного удаления натамицина комбинированным применением ряда сорбентов не достигнуто. Исследования будут продолжены в направлении усовершенствования экспрессных методов идентификации натамицина в сырье и готовой винодельческой продукции и разработки алгоритма его полного удаления из объектов.

**Ключевые слова:** консерванты; продукция виноделия; безалкогольные напитки; механизм действия натамицина; идентификация; сорбенты.

**Для цитирования:** Абакумова А.А., Шелудько О.Н. Натамицин в продукции виноделия: механизм действия, активность, идентификация, удаление // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2025;27(2):153-162. EDN VFQCKJ.

## Natamycin in wine products: mode of action, activity, identification, removal

Abakumova A.A., Sheludko O.N.✉

North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

✉scheludcko.olga@yandex.ru

**Abstract.** Wine products contain a wide range of biologically active components, which determine their high nutritional value. In addition, there is currently a significant interest in non-alcoholic wines as a product of healthy nutrition. However, the stability of such wines to microbiological spoilage is reduced due to absence of ethanol in their composition, which creates risks of uncontrolled introduction of new preservatives into products. One of them is natamycin, widely used in food industry. In order to inhibit mold and yeast activity in winemaking, a number of countries regulate the concentration of preservatives up to 20 mg/l. In the Russian Federation, natamycin is not authorized for use in winemaking. However, its high efficiency and broad spectrum of action against many mold types and yeast species, as well as the lack of regulated methods of its identification, can lead to uncontrolled use of this preservative for a certain group of wine products. The results of research, stated in scientific publications of leading specialized journals on winemaking, microbiology and food chemistry subjected the use of natamycin in food industry are analyzed. The methods of its ingress in grape raw materials, as well as the effect on the component composition are considered. Two ways of natamycin ingress in wine products are established: direct introduction as a substitute for sulfur dioxide, potassium sorbate, and indirect ingress through the treatment of containers and surfaces of production facilities. The mechanism of natamycin action is described. Modern methods of its control are considered. The advantages of highly effective capillary electrophoresis are shown. It allows determining natamycin with a mass concentration from 0.2 mg/dm<sup>3</sup>. Methods for removing natamycin from wine products are considered. It is noted that complete removal of natamycin by combined use of a number of sorbents has not been achieved. The research will be continued in the direction of improving express methods for identifying natamycin in raw materials and finished wine products, as well as developing the algorithm for its complete removal from objects.

**Key words:** preservatives; wine products; soft drinks; mechanism of natamycin action; identification, sorbents.

**For citation:** Abakumova A.A., Sheludko O.N. Natamycin in wine products: mode of action, activity, identification, removal. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2025;27(1):153-162. EDN VFQCKJ (in Russian).

### Введение

В последнее время в России заметна тенденция к возрастанию интереса и спроса на продукты

с полезными свойствами. Пандемия подтолкнула людей больше заботиться о своем здоровье [1] и чаще выбирать пищевую продукцию, обогащенную витаминами, минералами, полифенолами и другими натуральными пищевыми ингредиентами, способными поддержать на должном уровне

координированную работу физиологических и регуляторных систем организма [2-5].

Продукция виноделия содержит в своем составе широкий спектр биологически активных компонентов, обуславливающий высокую пищевую ценность данной категории пищевой продукции. С другой стороны, длительная технология производства от виноградаря до готовых напитков создает риски попадания в продукцию не контролируемых на этапах производства соединений. Одним из них является полиеновый макролид натамицин (E 235) [6]. Натамицин в качестве консерванта имеет широкое применение при производстве различной пищевой продукции. Однако о разрешении использования натамицина для изготовления вина и напитков из винограда нет единой точки зрения.

В настоящее время тренд на здоровый образ жизни способствует и росту популярности безалкогольных вин. Продажи в России этой категории винодельческой продукции увеличиваются ежегодно. Основными поставщиками безалкогольных вин в Россию являются европейские страны: Германия, Испания, Италия, Молдавия и Франция. После разработки и принятия национального стандарта «Вина безалкогольные. Общие технические условия» выпуск безалкогольной продукции, несомненно, увеличат и отечественные производители.

В соответствии с особенностями технологии производства (деалкоголизация этилового спирта, обладающего ингибирующей жизнедеятельность микроорганизмов действием) [7] для придания безалкогольным винам стабильности, в том числе недопустимости забраживания и микробиальной порчи, требуется использование консервантов. В ряде стран натамицин законодательно разрешен и является инструментом, позволяющим защитить вино от порчи и продлить срок его хранения [8]. В Российской Федерации, как и в Европейском союзе натамицин не разрешен в виноделии. Однако его высокая эффективность и широкий спектр действия против многих видов плесени и дрожжей, а также отсутствие регламентируемых методов его идентификации могут привести к неконтролируемому применению данного консерванта для определенной группы продукции виноделия. В свою очередь, это может привести к загрязнению окружающей среды и представлять опасность для здоровья. Изучение консервирующего действия натамицина, его влияния на свойства сырья и продукции виноделия, а также способов его идентификации и удаления является актуальным направлением исследований.

**Цель работы** – обзор свойств, возможностей применения натамицина в виноделии, методов

контроля его содержания и удаления из продукции виноделия.

### Объекты и методы исследований

Поиск источников информации осуществляли в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU (РИНЦ), а также в международных базах данных научного цитирования – AGRIS – Международная система сельскохозяйственной науки и технологий, Web of Science (WoS), Scopus, Science Direct и других. Рассматривали публикации, относящиеся к теме обзора с ретроспективой 10-15 лет.

### Результаты и их обсуждение

Натамицин (пимарицин) – природный антимикотический полиент, является представителем бактерицинов, используемых в пищевой промышленности. Натамицин синтезируют бактериями *Streptomyces natalensis* и *Streptomyces chatanoogen* в результате строго контролируемого процесса аэробной ферментации на средах, содержащих большое количество углеводов. Таким образом, натамицин является натуральным пищевым консервантом с фунгицидными свойствами [9, 10].

Натамицин получен в 1955 г. группой голландских исследователей из культуры микроорганизма рода *Streptomyces* [11]. Штамм *Streptomyces* был выделен из образца почвы, взятого в окрестностях города Питермаритцбург, ЮАР. Поэтому и продуцируемый выделенным штаммом антибиотик был назван от названия города пимарицин. Однако в соответствии с директивой ВОЗ антибиотика, продуцируемые *Streptomyces*, должны иметь окончание - мицин, поэтому название пимарицин было отклонено ВОЗ и изменено на натамицин [12]. Натамицину в Евросоюзе как пищевой добавке присвоен код E235. Он широко распространен в пищевой промышленности как консервант, предотвращающий заплесневение продуктов [13].

Натамицин является тетраеновым макролидом, имеющим крупное лактонное кольцо (25 атомов углерода), связанное эфирной связью с микоаминовой группой [14-17].

В водных растворах натамицин проявляет амфотерные свойства. Он представляет собой белый порошок без вкуса и запаха. Температура ниже 120 °С не оказывает влияния на его антимикотическую активность при длительности ее воздействия менее одного часа [11, 18].

Натамицин плохо растворим в воде, хорошо растворим в полярных органических растворителях, например в ледяной уксусной кислоте, глицерине и пропиленгликоле [11]. Натамицин является достаточно стабильным соединением – при хранении в темном месте в течение 2-х лет потерь антимикотической активности не отмечалось [11]. В растворах натамицин стабилен при значениях

pH 5,0–9,0 [18]. Инактивация натамицина происходит при воздействии ультрафиолета с длиной волны 300–350 нм и различных окислителей [11]. Антиоксиданты предохраняют натамицин от инактивации [11]. Данный консервант, попадая в состав продукта, не приводит к значимым изменениям его внешнего вида, цвета, структуры и вкуса и не изменяет пищевую ценность [4].

Он не токсичен для человека. Его применение не вызывало развития аллергических реакций, мутагенеза и канцерогенов. Неспособность натамицина вызывать сенсibilизацию связывают с его практически нулевой аффинностью к белкам [19, 20]. Антибиотик может вызвать контактную сенсibilизацию, только проявив свойства гаптена, т.е. образовав комплекс с белком, что придает ему иммуногенные свойства. Натамицин имеет высокое сродство с липидами, но не способен связываться с белками, в силу чего не может быть гаптенем и не обладает антигенными свойствами [11, 21].

До 2008 г. точный механизм действия натамицина не был изучен. При описании действия натамицина приводили механизм других изученных представителей класса полиеновых макролидов, заключающийся во взаимодействии с эргостерином – главным стеролом клеточных мембран, участвующем в процессах эндоцитоза, слияния вакуолей, поляризации и морфогенеза [11, 22–28]. В результате такого взаимодействия образуются полупоры или планарные комплексы. Соединение двух полупор приводит к образованию пронизывающей клеточную мембрану поры, что нарушает селективную проницаемость липидного бислоя и изменяет ионный градиент, приводя к гибели гриба. Два планарных комплекса, соединяясь гидрофобными участками, формируют структуру, которая погружается в липидный бислой клеточной мембраны, приводит к фрагментации последней и утечке компонентов цитоплазмы [11].

Установлено, что натамицин является единственным представителем класса полиеновых макролидов, механизм действия которого не связан с образованием пор в мембране гриба и увеличением ее проницаемости. Натамицин обладает высокой специфичностью к эргостерину клеточных мембран. Под действием натамицина происходит ингибирование экзо- и эндоцитоза, слияния вакуолей и функционирования белков-переносчиков, что лишает гриб энергетических субстратов и способности к размножению [29, 30].

В 2012 г. установлено, что воздействие натамицина за считанные минуты приводит к ингибированию белков – переносчиков аргинина, пролина и глюкозы и прекращению транспорта указанных субстратов в клетки *Saccharomyces cerevisiae* и конидии *Aspergillus niger*. После удаления натамицина

из среды восстановление транспортной функции происходит очень медленно. Данные белки и их функция являются эргостеринзависимыми, следовательно, их ингибирование связано с взаимодействием натамицина с эргостерином мембраны [31].

Натамицин оказывает действие на широкий спектр представителей грибов, включая дрожжевые, дрожжеподобные и плесневые грибы, в том числе и тех, которые могут вызывать порчу вина [11, 26]. В отношении большинства грибов натамицин активен даже в очень низкой концентрации. Дрожжевые и дрожжеподобные грибы особенно чувствительны – в ряде случаев минимальная ингибирующая концентрация (МИК) составляла менее 1 мкг/мл. Так, у дрожжевых грибов МИК зарегистрирован в пределах 0,9 – 2,5 мкг/мл, у дрожжеподобных – 1,5 – 12,5 мкг/мл, у прочих грибов он составляет 1,2 – 10,0 мкг/мл [11].

Природное происхождение, механизм действия натамицина, широкий спектр противомикробной активности и высокий профиль безопасности обуславливают актуальность его применения в пищевой промышленности в качестве консерванта для подавления роста плесневых грибов и дрожжей. Кроме того, активность натамицина как консерванта в 500 раз превышает активность синтетического консерванта сорбиновой кислоты [6, 32].

В качестве консерванта в зависимости от законодательства отдельных стран натамицин используют при производстве сыров (твердых и мягких сортов), рассолов, мясных продуктов (колбасы, жареное мясо и утка), рыбных продуктов, салатных заправок, соевого соуса, напитков (виноградный, яблочный, томатный и др. соки), вина, натурального уксуса, пива, кисломолочных продуктов (йогурты, сливки, ацидофильное молоко) и хлебобулочных изделий (лепешки, паровой хлеб) [27, 33, 34].

В ряде стран натамицин используют при комплексной обработке овощных, ягодных культур, семечковых, косточковых плодов и цитрусовых [28, 35]. Исследования послеуборочной обработки капусты натамицином совместно с воздействием электромагнитных полей крайне низких частот показали высокую эффективность натамицина [36]. Описан механизм защитного действия натамицина совместно с феруловой кислотой на ягоды ежевики после сбора урожая [37]. Установлено, что комбинированное применение натамицина и феруловой кислоты подавляет в ягодах биологические процессы, связанные с углеводным и энергетическим обменом. Биосинтез аминокислот ослабляет дыхание, повышается устойчивость к стрессу, что приводит к увеличению стойкости ягод, и как следствие пролонгируется качество ежевики. Доказано положительное влияние натамицина на качество семян арахиса при хранении в течение 12

месяцев, установлено снижение роста грибков и содержания афлатоксина В1 [38]. Защитное действие натамицина используют для борьбы с серой гнилью на плодах черники, вызванной устойчивым к нескольким фунгицидам *Botrytis cinerea* [39].

Эффективен натамицин и в системе защиты винограда. Изучено влияние натамицина на *Botrytis cinerea* и *Penicillium expansum* – возбудителей болезни винограда. В исследовании показано, что применение натамицина оказывает сильное ингибирующее действие на вегетативный рост патогенных грибов: *Botrytis cinerea* и *Penicillium expansum*. Применение 100 мг/л натамицина приводит к полному подавлению серой гнили в виноградных ягодах [18]. Включение натамицина в систему защиты винограда может быть обусловлено тем, что, проявляя эффективные и достаточные для транспортировки сырья антибиотические свойства, он имеет слабую устойчивость к ряду факторов, например, действию ультрафиолета и теоретически должен быть полностью разрушен в процессе производства готовой продукции.

Использование натамицина в производстве напитков может быть как на этапе выращивания сырья для напитков – сельскохозяйственных культур (косточковых, семечковых, цитрусовых и винограда), так и в технологии производства соковой и алкогольной продукции [40, 41]. Полиеновые макролиды, к которым относится исследуемый консервант, проявляют высокую активность при значениях рН, соответствующих значениям активной кислотности соков и вин. Что объясняет эффективность применения натамицина в производстве напитков и виноделии, например для предупреждения самопроизвольного начала спиртового брожения и порчи продукции [27].

В ряде стран натамицин применяется в качестве консерванта при производстве напитков, включая виноградный, яблочный сок и винодельческую продукцию (таб.). В странах Нового Света (Чили, Южная Африка, Аргентина и др.) применение натамицина в вине разрешено и установлены оптимальные его концентрации в продуктах [8]. Рекомендуемая концентрация натамицина для внесения на этапах производства напитков составляет в среднем 10-50 мг/л. В виноделии и пивоварении для подавления жизнедеятельности плесени и дрожжей оптимальная концентрации консерванта составляет 60-80 мг/л. После розлива в бутылки натамицин добавляют в концентрации от 6-20 мг/л [41].

Установлено, что натамицин способен увеличивать антиоксидантную активность фруктовых соков во время хранения и сохранения биоактивных свойств яблочного сока при наличии натамицина в его составе [42]. Ученые изучали

противогрибковую активность натамицина в яблочном соке, зараженном *Zygosaccharomyces rouxii* и *Zygosaccharomyces bailii*, во время хранения при различных температурах. В эксперименте продолжительность хранения составила 1, 21 и 41 день, температура хранения – 4, 12 и 20 °С, концентрация натамицина – 0, 30 и 60 мг/л. Результаты показали, что натамицин оказывает заметное противогрибковое действие на *Zygosaccharomyces bailii*, а не на *Zygosaccharomyces rouxii*. Уровень содержания сахара в образцах снизился, показатели мутности значительно увеличились из-за активности дрожжей во время хранения. Натамицин повлиял на биоактивные свойства, которые повышают антиоксидантную способность яблочного сока во время хранения. С помощью метода оптимизации множественных откликов рассчитано, что минимальное количество дрожжей в исследуемых образцах яблочного сока будет наблюдаться при хранении 38,6 и 40,9 дней, температуре хранения 19,8 и 14,4°С и при концентрации натамицина 40 и 51,9 мг/л. Авторами был сделан вывод, что биоактивные свойства яблочного сока можно сохранить с помощью добавления натамицина, который, как предполагается, является естественным ингибитором при хранении.

Значимость данных исследований заключается в выявлении у натамицина сильной дрожжевой активности против *Zygosaccharomyces bailii*, которые обычно устойчивы к высоким концентрациям эффективных консервантов. Порча продукции, вызванная ростом дрожжей *Zygosaccharomyces bailii*, широко распространена и наносит значительный экономический ущерб пищевой промышленности. В этом роде *Zygosaccharomyces bailii* является одним из наиболее проблемных видов из-за своей исключительной устойчивости к различным стрессовым условиям [43, 44]. Эти осмоотолерантные дрожжи за счет своей стойкости при низких уровнях рН наносят значительный экономический ущерб широкому спектру кислых и/или высокосахаристых продуктов, таких как концентрированное сусло и соки, вино, безалкогольные напитки, сиропы и др. [45]. Поэтому использование натамицина в качестве альтернативы консервантам синтетического производства имеет преимущество при защите биоактивных свойств готовой продукции.

Для предотвращения порчи безалкогольных напитков предлагается применять комбинированное использование натамицина с обработкой ультразвуком [46]. Так, установлено, что обработка ультразвуком с амплитудой 70% в течение 4 мин. с одновременным внесением натамицина приводит к снижению до 70% активности пероксидазы, позволяет контролировать развитие микроорганизмов и значимо увеличивает срок годности на-

**Таблица.** Пути попадания натамицина в соки и вина**Table.** Routes of natamycin entry into juices and wines

Страна	Способы применения натамицина и объекты
Турция	При производстве соков
Южная Африка	Прямое внесение – искусственная добавка, в качестве замены диоксида серы, сорбата калия. Случайное загрязнение сырья и продукции после обработки стен и полов винодельческих цехов
Аргентина	Прямое внесение при производстве вина. В сочетании с другими веществами как биопротектор для подавления образования биопленки в производстве соков
Китай	Прямое внесение при производстве вина
США	Использование для обработки вод с целью очистки элементов оборудования на производственных линиях по переработке сельскохозяйственной продукции
Российская Федерация	Запрещено при производстве продукции виноделия

питков.

Натамицин для различных целей одобрен более чем в 150 странах [47]. В ряде стран (табл.) натамицин применяют в виноделии для контроля порчи вина. Преимущественно натамицин добавляют на заключительных этапах производства вина, обычно перед розливом в бутылки, чтобы предотвратить развитие плесени и дрожжей в готовом продукте. Это особенно важно для вин с высоким содержанием остаточного сахара, которые более подвержены порче. Также натамицин используют для защиты от повторного заражения. Он создает защитный барьер на поверхности вина, предотвращая проникновение микроорганизмов извне. Натамицин, подавляя рост ряда нежелательных микроорганизмов, способствует также увеличению срока хранения вина.

Однако все без исключения бактерии устойчивы к действию натамицина, т.к. в их клеточной стенке нет стеролов, являющихся мишенью действия для натамицина [11, 48], поэтому применение данного препарата неэффективно для предотвращения бактериальной порчи продукции. Так, в работе [41] показан эффект развития нежелательной микрофлоры, провоцирующей окисление виноматериалов. Авторами установлено, что при внесении натамицина в концентрациях до 20 мг/дм<sup>3</sup> в белых и красных виноматериалах происходило снижение содержания индивидуальных свободных аминокислот гистидина и лейцина, увеличение концентрации ацетальдегида и ацетоина.

Натамицин может использоваться не только в качестве консерванта с прямым внесением в продукт, но и на таких стадиях технологического процесса, как чистка оборудования и помещений. Винодельни используют натамицин для обработки

стен и полов в цехах по производству вина, чтобы избавиться от дрожжей и плесени в окружающей среде. В таких условиях натамицин, присутствующий в окружающей среде и подавляющий рост дрожжей и плесени, может легко попасть в изготавливаемую пищевую продукцию [8]. На рабочих поверхностях производственных помещений и емкостях могут образовываться смешанные биопленки, устойчивые к общепринятым механическим и химическим способам очистки и дезинфекции и являющиеся распространенной проблемой индустрии напитков. Микроорганизмы пищевого происхождения, входящие в состав этих биопленок, могут быть источником загрязнения, увеличивая риск бактериальных заболеваний пищевого происхождения. Для решения этой проблемы используют комбинированную обработку рабочих поверхностей препаратами полиеновых макролидов натамицина и фарнезола. Есть сведения об эффективном применении данной комбинации на линиях по переработке яблочного сока [49]. Методы микробной дезактивации во время обработки воды более эффективны по сравнению с нанесением антибиотиков на поверхность различных свежих продуктов питания [49, 50]. Примером процедур, предшествующих упаковке яблок с использованием антимикробных средств являются следующие: промывание яблок водой с целью удаления органических веществ, очистка элементов оборудования на производственных линиях переработки яблочного сырья как дополнительная санитарная обработка. Кроме того, в литературных источниках встречается факт обнаружения натамицина в различных образцах воды, которая может быть неотъемлемой частью пищевой продукции [49, 50].

В настоящее время единого мирового мнения о допустимости и безопасности использования натамицина в пищевой продукции нет. Разрешенность применения натамицина регулируется законодательством. В Российской Федерации натамицин (E235) в качестве консерванта разрешен только при производстве сыра и сырокопченых, полукопченых колбас в концентрации 1 мг/дм<sup>2</sup> с проникновением на глубину не более 5 мм [51].

Однако следует отметить, что способность натамицина предотвращать забраживание соков и отсутствие методов контроля в виноделии [52] может послужить толчком его искусственного добавления в продукцию виноделия в качестве консерванта для сохранения виноградного сусла, напитков с остаточным сахаром и безалкогольных вин, а также вторичных продуктов виноделия (виноградные выжимки). Следует отметить, что, обладая низкой растворимостью в воде, натамицин в «кислой» среде в присутствии этилового спирта

растворяется полностью, что делает простым его применение [53]. Кроме того, возможен и случайный путь попадания натамицина в продукцию виноделия, например при попадании через контакт с обработанными емкостями, через сырье и т.п. Также натамицин был обнаружен в некоторых импортных европейских составных пробках [54]. Поэтому представляет интерес рассмотреть методы его идентификации в пищевых продуктах и способы удаления.

Для обнаружения натамицина и своевременного разрушения с последующим удалением, по нашему мнению, необходима его идентификация как в сырье, так и в готовой винодельческой продукции, особенно из стран, где натамицин разрешен в виноделии. Интересен тот факт, что в процессе яблочно-молочного брожения (ЯМБ) идентификация натамицина в красном вино материале может быть более затруднительной, чем в белом [27]. Это побуждает к разработке новых эффективных методов идентификации, так как, несмотря на более легкую идентификацию натамицина в белом вине, способность и скорость распада натамицина в красном вине ниже [53], что можно связать с более высокой антиоксидантной активностью красных вин, оказывающей защитное действие на натамицин.

Для обнаружения натамицина в винах используют высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) прямым определением или в сочетании с твердофазной экстракцией с применением полярных элюентов и различных детекторов [8, 55]. Данные методы обладают достаточной линейностью и позволяют получать достоверные результаты при концентрации натамицина в пробе от 0,05 мг/л. Также разработаны методы с применением ультра-высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией [56], ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с квадруполь-времяпролетной масс-спектрометрией высокого разрешения [57]. Применение этих разработок с использованием метода добавок позволяет идентифицировать натамицин с массовой концентрацией от 0,5 нг/кг.

К другим методам обнаружения натамицина в винах относятся адсорбционная индуктивная вольт-амперометрия с линейной разверткой, непрягая пламенная атомно-абсорбционная спектроскопия и флуоресцентная спектроскопия [57, 59]. Электрохимическое определение этого соединения отличается низкой чувствительностью при использовании обычных немодифицированных электродов из-за медленного прямого переноса электронов. Поэтому для снижения предела обнаружения используют различные наномате-

риалы. Так, для анализа натамицина методом линейной сканирующей адсорбционной stripping-вольтамперометрии применялся чувствительный датчик на основе разработки трёхмерных углеродных нанотрубок, покрытых оксидом графена, позволивший достичь предела обнаружения 0,1 нМ [59]. Эти же авторы предложили электрохимический метод определения натамицина в пищевых продуктах, предполагающий использование катодно-кондиционированного бор-легированного алмазного электрода. Катодная предварительная обработка позволила улучшить вольтамперометрические сигналы и достичь удовлетворительной повторяемости результатов измерений.

Еще одним современным методом идентификации натамицина в таких пищевых продуктах, как вина, пиво и другие напитки является иммуноферментный анализ, представляющий собой метод скрининга на основе антител для обнаружения натамицина (факторов, ответственных за чувствительность и специфичность анализа). С помощью данного анализа можно провести качественный и количественный анализ натамицина в концентрации от 0,02 нг/мл [60].

Методы высокоэффективной хроматографии и ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией требуют дорогостоящего оборудования, квалифицированного персонала и значительного времени для обнаружения. Применение электрохимических методов и методов иммуноферментного анализа (ИФА) для оценки количественного содержания натамицина в пробах очень ограничено ввиду отсутствия регламентированных официальными документами методик, отечественных материалов и тест-систем, методов компьютерной обработки данных.

Наиболее экспрессным, экономически эффективным способом идентификации натамицина в сырье и винодельческой продукции, по нашему мнению, является метод высокоэффективного капиллярного электрофореза (ВЭКЭ) [61]. ВЭКЭ позволяет надежно идентифицировать натамицин в виноградном сусле и вино материале, в т.ч. в период ЯМБ, и достоверно определять массовые концентрации натамицина от 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, при концентрировании пробы возможно уменьшение нижнего предела количественного определения натамицина.

Для удаления натамицина из вина было изучено действие осветляющих вспомогательных материалов и их комбинаций: поливинилполипиrolлидона – в концентрации от 0,1-0,5 г/л, раствора желатина – 0,2-1,0 г/л и раствора бентонита – 0,5-2,0 г/л [8]. Предполагалось, что натамицин подобно пектину, полифенолам и белкам способен

связываться с желатином, бентонитом, танином с последующим удалением методом сепарации. Однако рядом других авторов доказано, что натамицин не способен связываться с белками [11, 21], поэтому необходимо продолжить исследования для выявления механизма взаимодействия натамицина с компонентами вина и технологическими вспомогательными средствами белковой природы. Для поливинилполипироллидона (ПВПП) предложен другой механизм действия, заключающийся в удалении натамицина как макромолекулы, с комплексобразованием посредством электростатической силы и водородных связей [62]. В результате опытов было установлено, что концентрация натамицина снижалась в зависимости от времени обработки, но были получены и отрицательные результаты, когда осветляющее средство не оказывало влияния на натамицин.

Сотрудниками научного центра «Виноделие» разработана и предложена технология удаления натамицина из вина с помощью виноградных пищевых волокон. Для их изготовления использовали выжимку, как из классических сортов, так и сортов местной селекции. Максимальная сорбция натамицина при контакте с пищевыми волокнами происходила в течение 2 ч. Внесение волокон, полученных из кожицы при переработке выжимок из красных сортов винограда, показало лучшую сорбционную способность по сравнению с пищевыми волокнами из белых сортов винограда. Внесение данных продуктов вторичной переработки винограда в вино в количестве 3,0 г/дм<sup>3</sup> способствовало удалению от 42 до 68 % натамицина из вина [63].

### Выводы

Таким образом, в настоящее время натамицин широко используется в пищевой промышленности как консервант природного происхождения. Механизм действия натамицина, широкий спектр противомикробной активности и высокая активность могут послужить толчком его искусственного добавления в продукцию виноделия в качестве консерванта для сохранения виноградного сусла, напитков с остаточным сахаром и безалкогольных вин, а также вторичных продуктов виноделия (виноградные выжимки). Также возможен случайный путь попадания натамицина в продукцию виноделия через контакт с обработанными емкостями, через сырье и вспомогательные материалы.

Рассмотренные способы удаления натамицина из продукции виноделия с использованием комбинаций таких сорбентов как бентонит, желатин, поливинилполипироллидон и виноградные пищевые волокна не позволили достичь 100%-ного результата. Наиболее экспрессным способом идентификации натамицина в сырье и винодельческой

продукции, по нашему мнению, является метод высокоэффективного капиллярного электрофореза. Он позволяет надежно определять массовые концентрации натамицина от 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследования будут продолжены в направлении усовершенствования экспрессных методов идентификации натамицина в сырье и готовой винодельческой продукции и разработки алгоритма его разрушения и полного удаления из объектов.

### Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания № НИОКТР 122050400152-6.

### Financing source

The research was conducted under public assignment No. RDTW 122050400152-6.

### Конфликт интересов

Не заявлен.

### Conflict of interests

Not declared.

### Список литературы / References

1. Макушина Т.Н. Особенности и перспективы рынка производства продуктов полезного питания // Современное производство сельскохозяйственного сырья и продуктов питания: состояние, проблемы и перспективы развития: сб. науч. тр. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ. 2023:57-61.  
Makushina T.N. Features and prospects of the market for the production of healthy food products. Modern Production of Agricultural Raw Materials and Foodstuffs: State, Problems and Prospects of Development: Collection of Scientific Works of Samara SAU. 2023:57-61 (in Russian).
2. Макушин А.Н., Казарина А.В., Праздничкова Н.В., Борисенко Я.М. Перспектива использования новых сортов зерна нетрадиционных мукомольных культур при производстве безглютеновых хлебобулочных изделий // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сб. статей Международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГСХА. 2020:58-61.  
Makushin A.N., Kazarina A.V., Prazdnichkova N.V., Borisenko Ya.M. The prospect of using new varieties of grain from non-traditional flour crops in the production of gluten-free bakery products. Food Technologies of the Future: Innovations in the Production and Processing of Agricultural Products: Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference. 2020:58-61 (in Russian).
3. Троц А.П., Макушина Т.Н. Использование нетрадиционного сырья при переработке изделий хлебобулочных // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всерос. конф. с международ. участием. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2019:371-374.  
Trots A.P., Makushina T.N. The use of alternative raw materials in the production of bakery products. Import-substituting Technology and Equipment for Deep Complex Processing Agricultural Raw Material. Proc. I All-Russian Conf. with International Participation. Tambov: Publishing Center of FSBEI HE "TSTU". 2019:371-374 (in Russian).

4. Fortes Gris E., Mattivi F., Ferreira E.A., Urska V., Filho D.W., Pedrosa R.C., Bordignon-Luiz M.T. Stilbenes and tyrosol as target compounds in the assessment of antioxidant and hypolipidemic activity of *Vitis vinifera* red wines from southern Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(14):7954–7961. DOI 10.1021/jf2008056.
5. Mihnea M., González-San José M.L., Velasco-López M.T., Rivero-Pérez M.D., Ortega-Heras M., Pérez-Magariño S. Effect of pre-fermentative strategies on the composition of Prieto Picudo (*Vitis vinifera*) red wines. *Open Access Library Journal*. 2016;3(11):47-53. DOI 10.4236/oalib.1103197.
6. Кудряшов В.Л., Алексеев В.В., Фурсова Н.А. Низин и Натамицин – эффективные пищевые микробиологические консерванты. *Пищевая индустрия*. 2020;2(44):67-71. DOI 10.24411/9999-008A-2020-10007.  
Kudryashov V.L., Alekseev V.V., Fursova N.A. Nizin and Natamycin are effective food microbiological preservatives. *The Food Industry*. 2020;2(44):67-71. DOI 10.24411/9999-008A-2020-10007 (*in Russian*).
7. Федеральный закон от 27.12.2019 № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/564069019?ysclid=m7uf87v3ko784673902> (дата обращения 04.03.2025).  
Federal Law No. 468-FZ dated December 27, 2019 «On Viticulture and Winemaking in the Russian Federation» [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/564069019?ysclid=m7uf87v3ko784673902> (date of access: 04.03.2025) (*in Russian*).
8. Sun X., Li X., Wang P., Ma T., Huang W., Han S., Zhan J. Detection method optimization, content analysis and stability exploration of natamycin in wine. *Food Chemistry*. 2016;194:928-937. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.08.116.
9. Tziraki M.I., Savvaidis I.N. Citrus extract or natamycin treatments on Tzatziki – A traditional Greek salad. *Food Chemistry*. 2014;142:416-422. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.07.087.
10. Новокшенова Е.А., Гончар Д.В., Рахимова А.Д. Применение низина и натамицина в пищевой промышленности // *Ветеринария, биология, биотехнология, зоотехния. Научные основы: Матер. I-й научно-практич. конф. Москва: ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»*. 2023:129-131.  
Novokshchenova E.A., Gonchar D.V., Rakhimova A.D. Nizin and natamycin application in the food industry. *Veterinary Medicine, Biology, Biotechnology, Zootechnology, Scientific Foundations: Proceedings of the I Scientific and Practical Conference, Moscow, M.: FSBEI of HE Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin*. 2023:129-131 (*in Russian*).
11. Малова И.О., Петрунин Д.Д. Натамицин – противогрибковое средство класса полиеновых макролидов с необычными свойствами. *Вестник дерматологии и венерологии*. 2015;3:161-184. DOI 10.25208/0042-4609-2015-91-3-161-184.  
Malova I.O., Petrunin D.D. Natamycin – antimycotic of polyene macrolides class with unusual properties. *Vestnik Dermatologii i Venerologii*. 2015;3:161-184. DOI 10.25208/0042-4609-2015-91-3-161-184 (*in Russian*).
12. Raab P.W. Natamycin (Pimaricin). Its properties and possibilities in medicine. Stuttgart: Georg Thieme Publishers. 1972:1-134.
13. Regulation (EU) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council dd 2008 December, 16 on food additives [Electronic resource] <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj> (date of access: 10.02.2025).
14. Patrick J.B., Williams R.P., Webb J.S. Pimaricin II. The structure of pimaricin. *Journal of the American Chemical Society*. 1958;80(24):6689. DOI 10.1021/ja01557a060.
15. Ceder O. Pimaricin. IV. Complete structure of the antibiotic. *Acta Chemica Scandinavica*. 1964;18:126-134. DOI 10.3891/acta.chem.scand.18-0126.
16. Ceder O., Hansson B. Pimaricin VII: The absolute configuration at C-25. *Tetrahedron* 1967;23(9):3753-3755. DOI 10.1016/0040-4020(67)80022-x.
17. Golding B.T., Rickards R.W., Meyer W.E., Patrick J.B., Barber M. The structure of the macrolide antibiotic pimaricin. *Tetrahedron Letters*. 1966;7(30):3551–3557. DOI 10.1016/S0040-4039(01)82827-6.
18. He C., Zhang Z., Li B., Xu Y., Tian Sh. Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* – Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 2019;151:134-141. DOI 10.1016/j.postharvbio.2019.02.009.
19. Johansen J.D., Frosch P.J., Lepoittevin J.P. Contact dermatitis. 5th ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 2011:1-1262. DOI 10.1007/978-3-030-36335-2.
20. Nosbaum A., Vocanson M., Rozières A., Hennino A., Nicolas J.-F. Allergic and irritant contact dermatitis. *Pathophysiology and Immunological Diagnosis*. *European Journal of Dermatology*. 2009;19(4):325–32. DOI 10.1684/ejd.2009.0686.
21. Демина Т.Ю. Проблемы использования низина в качестве пищевой добавки // Матер. XVI Всероссийского съезда диетологов и нутрициологов. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии». 2016;85;2;188.  
Demina T.Yu. Problems of using nizin as a food additive. *Materials of XVI All-Russian Congress of Dietologists and Nutritionists. FSBSI FRC of Nutrition and Biotechnology*. 2016;85;2;188 (*in Russian*).
22. Мысякина И.С., Фунтикова Н.С. Роль стероидов в морфогенетических процессах и диморфизме грибов. *Микробиология*. 2007;76(1):5-18.  
Mysyakina I.S., Funtikova N.S. The role of sterols in morphogenetic processes and dimorphism of fungi. *Microbiology*. 2007;76(1):5-18 (*in Russian*).
23. Heese-Peck A., Pichler H., Zanolari B., Watanabe R., Daum G., Riezman H. Multiple functions of sterols in yeast endocytosis. *Molecular Biology of the Cell*. 2002;13(8):2664–2680. DOI 10.1091/mbc.e02-04-0186.
24. Kato M., Wickner W. Ergosterol is required for the Sec18/ATP-dependent priming step of homotypic vacuole fusion. *The EMBO Journal*. 2001;20:4035–4040. DOI 10.1093/emboj/20.15.4035.
25. Takeshita N., Higashitsuji Yu., Konzack S., Fischer R. Apical sterol-rich membranes are essential for localizing cell end markers that determine growth directionality in the filamentous fungus *Aspergillus nidulans*. *Molecular Biology of the Cell*. 2008;19(1):339–351. DOI 10.1091/mbc.e07-06-0523.
26. Червоткина Д.Р., Борисова А.В. Антимикробные препараты природного происхождения: обзор свойств и

- перспективы применения. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022;12(2):254-267. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267.
- Chervotkina D.R., Borisova A.V. Antimicrobial substances of natural origin: a review of properties and prospects. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2022;12(2):254-267. DOI 10.21285/2227-2925-2022-12-2-254-267 (in Russian).
27. Haro-Reyes T., Díaz-Peralta L., Galván-Hernández A., Rodríguez-López A., Rodríguez-Fragoso L., Ortega-Blake I. Polyene antibiotics physical chemistry and their effect on lipid membranes; impacting biological processes and medical applications. Membranes. 2022;12(7):681. DOI 10.3390/membranes12070681.
28. Chen D., Förster H., Adaskaveg J.E. Baseline sensitivities of major citrus, pome, and stone fruits postharvest pathogens to natamycin and estimation of the resistance potential in *Penicillium digitatum*. Plant Disease. 2021;105(8):2114-2121. DOI 10.1094/PDIS-07-20-1421-RE.
29. Van Leeuwen M.R., Golovina E.A., Dijksterhuis J. The polyene antimycotics nystatin and filipin disrupt the plasma membrane, whereas natamycin inhibits endocytosis in germinating conidia of *Penicillium discolor*. Journal of Applied Microbiology. 2009;106(6):1908-1918. DOI 10.1111/j.1365-2672.2009.04165.x.
30. Van Leeuwen M.R., Krijgsheld P., Wyatt T.T., Golovina E.A., Menke H., Dekker A., Stark J., Stam H., Bleichrodt R., Wösten H., Dijksterhuis J. The effect of natamycin on the transcriptome of conidia of *Aspergillus niger*. Studies in Mycology. 2013;74(1):71-85. DOI 10.3114/sim0013.
31. Te Welscher Y.M., van Leeuwen M.R., de Kruijff B., Dijksterhuis J., Breukink E. Polyene antibiotic that inhibits membrane transport proteins. Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2012;109 (28):11156-11159. DOI 10.1073/pnas.1203375109.
32. Delves-Broughton J. Preservatives. Permitted preservatives – Natamycin. Reference Module in Food Science. 2014:84-91. DOI 10.1016/B978-0-12-384730-0.00269-X.
33. Te Welscher Y.M., Jones L., van Leeuwen M.R., Dijksterhuis J., de Kruijff B., Eitzen G., Breukink E. Natamycin inhibits vacuole fusion at the priming phase via a specific interaction with ergosterol. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2010;54(6):2618-2625. DOI 10.1128/AAC.01794-09.
34. Te Welscher Y.M., ten Napel H.H., Balagué M.M., Souza C.M., Riezman H., de Kruijff B., Breukink E. Natamycin blocks fungal growth by binding specifically to ergosterol without permeabilizing the membrane. Journal of Biological Chemistry. 2008;283(10):6393-6401. DOI 10.1074/jbc.M707821200.
35. Stark J. Natamycin: An effective fungicide for food and beverages. Natural Antimicrobials for the Minimal Processing of Foods. 2003;82-97. DOI 10.1533/9781855737037.82.
36. Бабакина М.В., Михайлюта Л.В., Першакова Т.В., Купин Г.А., Самойленко М.В. Натамицин и электромагнитные поля: влияние на качество капусты при хранении. Хранение и переработка сельхозсырья. 2021;3:69-80. DOI 10.36107/spfp.2021.229.
- Babakina M.V., Mikhaylyuta L.V., Pershakova T.V., Kupin G.A., Samoylenko M.V. Natamycin and electromagnetic fields: influence on the quality of cabbage during storage. Storage and Processing of Farm Products. 2021;3:69-80. DOI 10.36107/spfp.2021.229 (in Russian).
37. Hongxia Liu, Haiyan Yang, Huifang Zhao, Lianfei Lyu. The mechanism of protective effect on postharvest blackberry fruit treated with ferulic acid and natamycin jointly using transcriptomics and proteomics methods. European Food Research and Technology. 2022;248(10):1-13. DOI 10.1007/s00217-022-04076-x.
38. Wang J., Wu Sh. Natamycin loaded onto chitosan-based coatings for the quality preservation of peanut seed from fungal contamination. Journal of Plant Diseases and Protection. 2023;130(4):899-903. DOI 10.1007/s41348-023-00734-8.
39. Saito S., Wang F., Xiao Ch.-L. Natamycin as a postharvest treatment to control gray mold on stored blueberry fruit caused by multi-fungicide resistant *Botrytis cinerea*. Postharvest Biology and Technology. 2022;187:111862. DOI 10.1016/j.postharvbio.2022.111862.
40. Zeng X., Miao W., Zeng H., Zhao K., at all. Production of natamycin by *Streptomyces gilvosporeus* Z28 through solid-state fermentation using agro-industrial residues. Bioresource Technology. 2019;273:377-385. DOI 10.1016/j.biortech.2018.11.009.
41. Абакумова А.А., Агеева Н.М., Чемисова Л.Э., Тихонова А.Н., Гугучкина Т.И., Прах А.В. Снижение влияния натамицина на биохимические показатели вин // Известия вузов. Пищевая технология. 2023;2-3(392):70-74. DOI 10.26297/0579-3009.2023.2-3.12.
- Abakumova A.A., Ageeva N.M., Chemisova L.E., Tikhonova A.N., Guguchkina T.I., Prakh A.V. Reducing the effect of natamycin on the biochemical parameters of wines. Proceedings of Universities. Food Technology. 2023; 2-3(392):70-74. DOI 10.26297/0579-3009.2023.2-3.12 (in Russian).
42. Karaman K., Sagdic O., Tahsin Yilmaz M. Potential of natamycin to control growth of *Zygosaccharomyces* spp. in apple juice during storage. International Journal of Food Microbiology. 2020;332:108771. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108771.
43. Encyclopedia of Food Microbiology. 2nd edition. Elsevier Ltd. 2014:1-400.
44. Чевычелова М.В., Храмова К.Л., Дунченко Н.И. Изучение влияния *Zygosaccharomyces bailii* на микробиологическую порчу пищевых продуктов // Сб. статей Международной научной конференции «Агробиотехнология-2021». Москва, 2021:1262-1265.
- Chevychelova M.V., Khramova K.L., Dunchenko N.I. Study of the effect of *Zygosaccharomyces bailii* on microbiological spoilage of food products. Collection of Articles of the International Scientific Conference "Agrobiotechnology-2021". Moscow. 2021:1262-1265 (in Russian).
45. Solieri L. The revenge of *Zygosaccharomyces* yeasts in food biotechnology and applied microbiology. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2021;37(6):96. DOI 10.1007/s11274-021-03066-7.
46. Casco M.A., Jagus R., Agüero M.V., Fernandez M.V. Ultrasound and its combination with natural antimicrobials: Effects on shelf life and quality stability of a fruit and vegetable smoothie. Food and Bioprocess Technology. 2022;15(5):1-16. DOI 10.1007/s11947-021-02745-5.
47. Regulatory and approval information [Electronic resource]: <https://en.wikipedia.org/wiki/Natamycin> (date of access: 10.02.2025).

48. Kauffman C.A., Pappas P.G., Sobel J.D., Dismukes W.E. *Essentials of clinical mycology*. 2nd edition. New York: Springer Science + Business Media, LLC. 2011;1-566.
49. Agustín M.D.R., Tarifa M.C., Vela-Gurovic M.S., Brugnoli L.I. Application of natamycin and farnesol as bioprotection agents to inhibit biofilm formation of yeasts and foodborne bacterial pathogens in apple juice processing lines. *Food Microbiology*. 2023;109:104123. DOI 10.1016/j.fm.2022.104123.
50. Pietrysiak E., Smith S., Ganjyal G.M. Food safety interventions to control *Listeria monocytogenes* in the fresh apple packing industry: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019;18(6):1705-1726. DOI 10.1111/1541-4337.12496.
51. ТР ТС 029/2012 Технический регламент Таможенного союза. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/902359401> (дата обращения: 10.02.2025).  
TR TS 029/2012 Technical Regulations of the Customs Union. Safety requirements for food additives, flavorings and technological aids [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/902359401> (date of access: 10.02.2024) (*in Russian*).
52. EFSA Panel on food Additives and nutrient sources added to food (ANS). Scientific opinion on the use of natamycin (E 235) as a food additive. *EFSA Journal*. 2009;7(12):1412;25. DOI 10.2903/j.efsa.2009.1412.
53. Domínguez-Renedo O., Navarro-Cuñado A.M., Meléndez-Álvarez M.E., Asunción Alonso-Lomillo M. Current state of electrochemical sensors in wine analysis for early diagnosis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2023;168;117349. DOI 10.1016/j.trac.2023.117349.
54. Alberts P., Stander M.A., de Villiers A. Development of a fast, sensitive and robust LC-MS/MS method for the analysis of natamycin in wine. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 2011;32(1):51-59. DOI 10.21548/32-1-1366.
55. Paseiro-Cerratoa R., Otero-Pazosa P., Rodríguez-Bernaldo de Quirós A., Sendóna R., Angulob I., Paseiro-Losada P. Rapid method to determine natamycin by HPLC-DAD in food samples for compliance with EU food legislation. *Food Control*. 2013;33(1):262-267. DOI 10.1016/j.foodcont.2013.03.006.
56. Mariño Repizo L., Dante Martinez L., Olsina R.A., Cerutti S., Raba J. A novel and rapid method for determination of natamycin in wines based on ultrahigh-performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry: validation according to the 2002/657/EC European decision. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2012;402(2);965-973. DOI 10.1007/s00216-011-5481-6.
57. Большаков Д.С., Амелин В.Г. Экспресс-идентификация и определение натамицина в пищевых продуктах методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии/квадруполь-времяпролетной масс-спектрометрии высокого разрешения. Сорбционные и хроматографические процессы. 2019;19(4);451-459. DOI: 10.17308/sorpchrom.2019.19/783.  
Bolshakov D.S., Amelin V.G. Express identification and determination of natamycin in food products by ultrahigh-performance liquid chromatography/high-resolution quadrupole time-of-flight mass spectrometry. Sorption and Chromatographic processes. 2019;19(4):451-459. DOI 10.17308/sorpchrom.2019.19/783 (*in Russian*).
58. Chen Ya., Kong D., Liu L. Song Sh., Kuanga H., Xu Ch. Development of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for natamycin residues in foods based on a specific monoclonal antibody. *Analytical Methods*. 2015;7;3559-3565. DOI 10.1039/C5AY00404G.
59. Mielech-Łukasiewicz K., Leoniuk M. Voltammetric determination of natamycin using a cathodically pretreated boron-doped diamond electrode in the presence of sodium dodecyl sulfate. *Microchemical Journal*. 2020;159;105570. DOI 10.1016/j.microc.2020.105570.
60. Burkin M.A., Moshcheva A.G., Galvidis I.A. Immunoassay for natamycin trace screening: bread, wine and another edibles analysis. *Biosensors*. 2022;12(7);493. DOI 10.3390/bios12070493.
61. Патент 2669946 РФ, МПК G01N33/14, G01N27/26 Способ определения натамицина методом капиллярного электрофореза: № 2018102766; заявл. 15.03.2018; опубл. 17.10.2018, Бюл. N 29 / А.А. Абакумова, Т.И. Гугучкина, М.Г. Марковский, М.В. Антоненко.  
Patent 2669946 of the Russian Federation, IPC G01N33/14, G01N27/26 Method for the determination of natamycin by capillary electrophoresis: No. 2018102766; application dated 15/03/2018; published on 17/10/2018, Bull. No. 29 / A.A. Abakumova, T.I. Guguchkina, M.G. Markovsky, M.V. Antonenko (*in Russian*).
62. Li H., Guo A., Wang H. Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*. 2008;108(1):1-13. DOI 10.1016/j.foodchem.2007.10.065.
63. Абакумова А.А., Тихонова А.Н., Агеева Н.М., Антоненко М.В. Исследование влияния виноградных пищевых волокон на сорбцию натамицина в вине. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021;71(5):304-312. DOI 10.30679/2219-5335-2021-5-71-304-312.  
Abakumova A.A., Tikhonova A.N., Ageeva N.M., Antonenko M.V. Investigation of the effect of grape dietary fiber on the sorption of natamycin in wine. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2021;71(5):304-312. DOI 10.30679/2219-5335-2021-5-71-304-312 (*in Russian*).

## Сведения об авторах

**Алла Андреевна Абакумова**, мл. науч. сотр. научного центра «Виноделие»; e-mail: kgau.0701@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3182-0197>;

**Ольга Николаевна Шелудько**, д-р техн. наук, доцент, зав. научным центром «Виноделие»; e-mail: scheludcko.olga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8655-3375>.

## Information about authors

**Alla A. Abakumova**, Junior Staff Scientist, Scientific Center "Winemaking"; e-mail: kgau.0701@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3182-0197>;

**Olga N. Sheludko**, Dr. Techn. Sci., Associate Professor, Head of the Scientific Center "Winemaking"; e-mail: scheludcko.olga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8655-3375>.

Статья поступила в редакцию 20.02.2025, одобрена после рецензии 12.03.2025, принята к публикации 20.06.2025