Химия растительного сырья. 2026. №4. Online First.
Khimiya rastitel'nogo syr'ya, 2026, no. 4, Online First.
DOI: 10.14258/jcprm.20260417352

УДК 615.322, 615.451.1

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ГЛИКОАЛКАЛОИДСОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ – КОЖУРЫ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ КЛУБНЕНОСНОГО (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)*

© ***Т.О. Острикова, Н.Г. Богомолов**, А.И. Софронова, Д.А. Фомичева, О.В. Евдокимова, И.В. Черных***

Рязанский государственный медицинский университет, ул. Высоковольтная, 9, Рязань, 390026, Россия, nikita.bogomolov50@gmail.com

Кожура клубней картофеля клубненосного (*Solanum tuberosum*) – источник гликоалкалоидов (ГА): α-соланина и α-чаконина, обладающих потенциальной фармакологической активностью. В настоящее время данное растительное сырье не является фармакопейным, поэтому целью данной работы являлась его стандартизация.

Использовали высушенную кожуру инсолированных естественным излучением клубней картофеля клубненосного сорта Гала. Стандартизацию проводили по параметрам: макро- и микроскопическое описание, влажность, зола общая и нерастворимая в HCl, микробиологическая чистота, радионуклиды, остаточные пестициды, тяжелые металлы, минеральная примесь, наличие некоторых групп биологически активных веществ: белка (реактивом Бредфорда), крахмала (раствором Люголя), гидроксикоричных кислот (ГК) и ГА (тонкослойной хроматографией), хлорофилла (по характерной флуоресценции), флавоноидов (цианидиновой пробой, реакцией с хлоридом алюминия), дубильных веществ (реакциями с железоаммонийными квасцами, хинином, желатином). Оценивалось содержание суммы ГА методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией.

В результате работы были установлены показатели подлинности сырья – наличие на микрокартине крахмальных зерен, организации лейкопластов в хлоропласты, кольцевые и двуспиральные утолщения. Числовые показатели сырья: влажность – 5.89±0.15%; зола – 12.80±0.08%; зола, нерастворимая в HCl – 1.73±0.37%. В высушенной кожуре обнаружены белок, крахмал, ГК, ГА, хлорофилл. Количественное содержание суммы ГА составило 40.40±4.57 мг в 100.0 г сырья. Микробиологическая чистота, радионуклиды, остаточные пестициды, тяжелые металлы соответствовали требованиям общих фармакопейных статей.

Таким образом, была проведена стандартизация кожуры клубней картофеля клубненосного как потенциального источника ГА.

Ключевые слова: α-соланин, α-чаконин, стандартизация, гликоалкалоиды, картофель клубненосный, пасленовые.

Для цитирования: Острикова Т.О., Богомолов Н.Г., Софронова А.И., Фомичева Д.А., Евдокимова О.В., Черных И.В. Стандартизация гликоалкалоидсодержащего растительного сырья – кожуры клубней картофеля клубненосного (*Solanum tuberosum* L.) // Химия растительного сырья. 2026. №4. Online First. https://doi.org/10.14258/jcprm.20260417352.

Введение

Значительный интерес химиков [1] и фармакологов [2, 3] на сегодняшний день сконцентрирован на гликоалкалоидах (ГА) растений семейства Пасленовые (*f. Solanaceae*) в связи с выявлением у данной группы биологически активных веществ (БАВ) перспективных фармакологических свойств (протимикробное, противоопухолевое, противопаркинсоническое и др.) [2–4].

Первым ГА, обнаруженным в растительном сырье, был соланин [5], который представлял собой сумму α-соланина и α-чаконина, являющихся гликозилированными формами соланидина – производного циклопентанпергидрофенантрена, ненасыщенного в С5-С6 положениях, конденсированного с индолизидином при С16-С17 (рис. 1). В литературе описана цитотоксичность индивидуальных ГА по отношению к

*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20260417352s

** Автор, с которым следует вести переписку.

различным видам злокачественных новообразований [2, 3], а также ряду патогенных штаммов микроорганизмов [6, 7]. Однако ГА-содержащие растительные экстракты могли бы обладать, вероятно, более широким спектром фармакологических эффектов [8], благодаря комплексности состава, а также экономической доступностью и возможностью полноценного отечественного производства.

Широко известны растения семейства Пасленовые (*f. Solanaceae*), продуцирующие ГА, среди них – картофель клубненосный (*Solanum tuberosum* L.), составляющий основу сезонного питания россиян. Клубни растения активно используются для получения разнообразных пищевых продуктов – крахмала, мальтодекстрина и т.д. При этом значительное количество отходов (основную массу которых составляет кожура) масштабного картофельного производства безвозвратно утилизируется, являясь перспективным растительным сырьем для получения ГА-содержащих экстрактов. Для получения в последующем достоверных и воспроизводимых результатов исследования их фармакологических эффектов необходим анализ показателей качества указанных многокомпонентных объектов. Так, свойства и технологические параметры исходного растительного сырья (размер частиц, влажность, особенности пробоподготовки и т.д.), влияющие на выход целевых веществ при экстракции, существенно сказываются на эффективности и безопасности конечного продукта. Помимо фармакогностического, товароведческого исследований, а также анализа группы БАВ ряд фармакопейных статей на лекарственное растительное сырье (ЛРС) предписывает доказывать наличие сопутствующих компонентов, которые так же, как и основная группа действующих веществ, могут иметь фармакологические эффекты и быть токсичными [9]. В связи с тем, что кожура клубней картофеля не является фармакопейным сырьем, для него отсутствуют приведенные выше сведения. Таким образом, целью работы являлась стандартизация растительного сырья – источника ГА.

Экспериментальная часть

Материалы и методы. В работе использовалась кожура клубней картофеля клубненосного (*Solanum tuberosum*) сорта Гала, выращенного в Рязанской области. Пробоподготовка растительного сырья включала: инсоляцию (для накопления основных фармакологически активных компонентов – ГА [10]) со средней интенсивностью дневного света 1.2 кЛюкс в течение 9 ч в день 14 дней, очистку ручным способом по уровню зеленой паренхимы (5–6 мм), высушивание в сушильном шкафу (ШС-40, Россия) при температуре 60 °С в течение 20±2 ч до постоянной массы, измельчение ножницами до размера частиц не более 5 мм.

Для характеристики микроскопических признаков (как свежего, так и высушенного сырья) использовали метод световой микроскопии согласно общей фармакопейной статье (ОФС) ОФС.1.5.3.0003 «Микроскопическое исследование». Для обнаружения проводящих тканей производили срезы на толщине зеленой паренхимы, высушивали. Одревесневшие элементы окрашивали раствором метиленового синего (Ленреактив, Россия), крахмальные зерна – раствором Люголя (ЮжФарм, Россия).

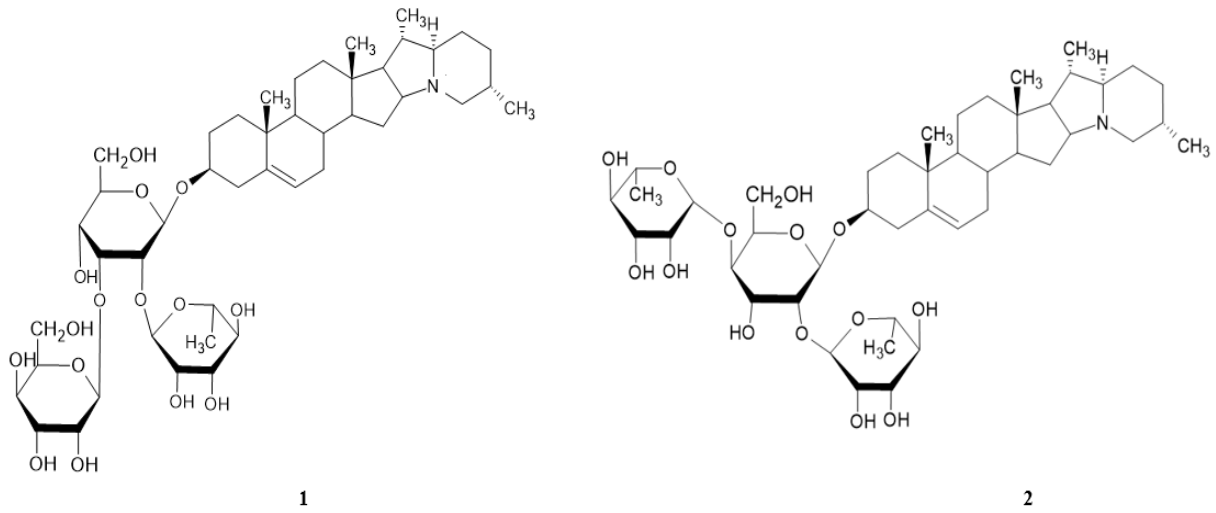


Рис. 1. Структура гликоалкалоидов (1 – α-соланина, 2 – α-чаконина)

Для контроля измельчения растительного сырья использовали сито №5, так как морфологическая группа, по нашему мнению, являлась промежуточной между корой и травой по своим свойствам (в связи с тем, что клубень – видоизмененный побег). Результат считали удовлетворительным, когда процент оставшегося на сите сырья по отношению к массе навески не превышал 5%.

Для определения коэффициента поглощения экстрагента навеску 10.0 г измельченной высушенной кожуры клубней картофеля заливали кислотой уксусной 5% (экстрагент, показавший максимальный выход суммы ГА в предварительных исследованиях [11] в соотношении 1 : 3 и настаивали в течение 10 мин при комнатной температуре на шейкере (ELMI, Латвия)) при 180 об./мин трехкратно. Далее извлечение процеживали через двойной слой марли, остаток сырья отжимали, измеряли объем полученного извлечения.

Коэффициент поглощения растворителя рассчитывали по формуле, указанной в ОФС.1.5.3.0012.

Для анализа влажности 100.0 г высушенной измельченной кожуры клубней картофеля перемешивали, затем отбирали три навески по 3.0 г. Параллельно высушивали до постоянной массы стеклянные бюксы. Каждую навеску сырья помещали в бюкс с крышкой и высушивали при 100–105 °С. Через 3 ч образцы охлаждали в эксикаторе, взвешивали. Высушивание продолжали до постоянной массы.

Влажность кожуры (W) оценивали по формуле по формуле, приведенной в ОФС.1.5.3.0007.15.

Для определения показателя зольности фарфоровый тигель прокаливали при 600±50 °С до постоянной массы в муфельной печи (SNOL, Россия), охлаждали в эксикаторе над кальция хлоридом, взвешивали.

Точную навеску около 3.0 г высушенной кожуры помещали в подготовленный тигель. Нагревали при температуре 100–105 °С в течение 60 мин и проводили сжигание с последующим прокаливанием остатка при температуре 600±50 °С. Тигель охлаждали в эксикаторе и взвешивали. Производили прокаливание до постоянной массы с периодичностью 60 мин до тех пор, пока два последовательных взвешивания отличались друг от друга не более чем на 0.5 мг.

Содержание золы общей (Х) в сырье вычисляли по формуле, указанной в ОФС.1.2.2.2.0013.

Для определения золы, нерастворимой в хлористоводородной кислоте, в тигель, содержащий остаток после определения золы общей, прибавляли 25 мл хлористоводородной кислоты (Сигма-Тек, Россия) 10%, накрывали часовым стеклом и нагревали на кипящей водяной бане (ELMI, Латвия). Далее охлаждали, прибавляли к содержимому тигля 5 мл горячей воды, обмывая часовое стекло. Фильтровали полученную жидкость через беззольный фильтр (Мелиор XXI, Россия), промывали его горячей водой до нейтральной реакции промывных вод по универсальной индикаторной бумаге, переносили его в тот же тигель, сушили и прокаливали при 600±50°С до постоянной массы. Далее охлаждали в эксикаторе и взвешивали.

Содержание золы, нерастворимой в хлористоводородной кислоте, разведенной 10%, в кожуре клубней картофеля в % (Х) вычисляли по формуле ОФС.1.5.3.0005.

Для определения содержания минеральной примеси (с размерами менее 2 мм) анализируемую пробу высушенной измельченной кожуры просеивали сквозь сито, помещали в стеклянный стакан (1000 мл), прибавляли 200 мл воды, размешивали до полного смачивания сырья и выдерживали 5 мин. После оседания минеральной примеси декантировали воду со взвешенными частицами. Осадок в стакане промывали водой до полного удаления взвешенных частиц сырья. Стакан с оставшимся осадком помещали в сушильный шкаф и сушили при 100–105 °С до приобретения им свойства сыпучести. Высушенный осадок охлаждали и взвешивали. Содержание минеральной примеси рассчитывали по приведенной в ОФС.1.5.3.0004.15 формуле.

Наличие ГА в предварительных исследованиях определяли с помощью микрохимической реакции по В.Н. Ниловой. Для чего готовили пластинку кожуры клубней толщиной 1 мм и на срез добавляли по 2 капли ледяной уксусной кислоты, концентрированной серной кислоты и 5%-го раствора перекиси водорода. Затем микроскопировали при увеличении 40х и отмечали наличие окрашивания.

Обнаружение основных групп БАВ (ГА, гидроксикоричные кислоты (ГК) [12]) в высушенной кожуре проводили методом тонкослойной хроматографии (ТСХ).

Для извлечения ГА 50.0 г измельченного растительного сырья помещали в колбу вместимостью 1000 мл, прибавляли 412 мл кислоты уксусной водной 5% (Химреактивснаб, Россия) (с учетом коэффициента поглощения экстрагента), закрывали пробкой и экстрагировали трижды в течение 10 мин на шейкере при 180 об./мин. Извлечение фильтровали под вакуумом с помощью колбы Бунзена, объединяли в одну пробу. Добавляли аммиак 25% водный (Сигма-Тек, Россия) до pH=9–9.5. Центрифугировали при 1500 g с помощью центрифуги лабораторной (ELMI, Латвия). Надосадок отбрасывали. Осадок объединяли с помощью раствора этилацетата (Экос, Россия) и высушивали до постоянной массы при 40 °С.

Для приготовления испытуемого раствора около 5.0 мг осадка растворяли в 5 мл метилового спирта 99% (Акваметрия, Россия), выдерживали 60 мин при 50 °С в ультразвуковой ванне до полного растворения. Для приготовления растворов стандартных образцов (СО) α-соланина и α-чаконина (Phytolab GmbH, Германия) около 1.0 мг вещества растворяли в 1 мл спирта метилового 99% и перемешивали на вортексе (Heidolph, Германия). Наносили на линию старта аналитической хроматографической пластинки со слоем силикагеля (Sorbfil, Россия) 50 мкл испытуемого раствора ГА-содержащего экстракта и по 20 мкл растворов СО. Пластинку сушили при комнатной температуре в течение 10–15 мин, помещали в хроматографическую камеру со смесью растворителей: хлороформ (Экос, Россия) – метанол – аммиак 25% (13 : 7 : 1) (предварительно насыщали парами в течение 1 ч). По окончании хроматографирования пластинку обрабатывали реактивом Драгендорфа (приготовленный в соответствии с методикой ГФ XV).

Для экстракции ГК брали навеску 10,0 г высушенного измельченного сырья, 3 раза проводили извлечение 70% спиртом этиловым (приготовленным из 96% ХИММЕД, Россия) (в соотношении 1 : 10 путем перемешивания на шейкере при 180 об./мин и объединяли полученные вытяжки. Далее кислоты экстрагировали 10 мл раствора этилацетата трижды по 5 мин с помощью делительной воронки. Полученные извлечения объединяли и фильтровали при остаточном давлении не более 45 мм. рт. ст., использовали в качестве испытуемого раствора. СО хлорогеновой, феруловой и кофейной кислот (Clearsynth LABS LIMITED, Индия) готовили путем растворения 1,0 мг веществ в спирте метиловом. Наносили на хроматографическую пластинку по 10 мкл СО и 100 мкл испытуемого раствора. Высушивали при комнатной температуре и помещали в хроматографическую камеру со смесью растворителей изопропанол (Экос, Россия) – аммиак 25% водный (2 : 1) (предварительно насытив камеру их парами не менее 1 ч). Проявление пятен проводили с помощью УФ-лампы (Sorbfil, Россия) при длине волны 365 нм.

Совпадение Rf испытуемых растворов и СО (ГА и ГК) свидетельствовало о наличии искомых БАВ.

Для обнаружения белка готовили водное извлечение согласно ОФС.1.4.1.0018 «Настои и отвары»: 20.0 г высушенной измельченной кожуры клубней картофеля заливали водой очищенной в соотношении 1 : 10, нагревали на кипящей водяной бане в течение 30 мин, далее охлаждали 10 мин при комнатной температуре, отжимали, доводили извлечение до 200 мл. Затем вносили реактив Бредфорда (BioRad, США).

Хлорофилл обнаруживали по характерной красной флуоресценции при длине волны 365 нм [13]. Готовили гексановое извлечение (исходя из растворимости хлорофилла) из высушенного измельченного сырья: соотношение сырье-экстрагент 1 : 3, время настаивания 30 мин при комнатной температуре.

Для открытия крахмала проводили качественную реакцию с раствором йода в йодиде калия (реактив Люголя) непосредственно на изломе частей высушенной кожуры.

Экстракция флавоноидов осуществлялась спиртом этиловым 95%-ным с применением обратного холодильника при нагревании на водяной бане до 100 °С в течение 10 мин. Количество спирта по отношению к сырью – 3 : 1. Для подтверждения наличия флавоноидов были использованы следующие качественные реакции: цианидиновая проба, реакция со спиртовыми растворами натрия гидроксида и алюминия хлорида.

Для извлечения дубильных веществ использовалась фармакопейная методика изготовления отваров с 30 мин нагреванием на водяной бане, охлаждением в течение 15 мин при комнатной температуре. Количество экстрагента (вода очищенная) – 10 : 1 по отношению к массе сырья. Для подтверждения наличия дубильных веществ использовались следующие качественные реакции: осаждение желатином, осаждение раствором хинина гидрохлорида 1%-м, цветная реакция с железоаммонийными квасцами.

Количественное определение суммы ГА (предположительно, основной группы БАВ для данного сырья) проводили с помощью валидированной методики высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в градиентном режиме элюирования («Ultimate 3000» (Thermo Fisher Scientific, США)) после трехкратной мацерации 5%-м водным раствором уксусной кислоты. В качестве компонентов подвижной фазы использовали раствор муравьиной кислоты 0.1% («Panreac», Испания), метанол 99%. Внутренний стандарт – фексофенадин (United States Pharmacopeia (USP) Reference Standard, США) в концентрации 1 нг/мл. Для детекции переходов масс ионов анализируемых веществ использовали масс-спектрометрический детектор TSQ Fortis (США) (масс-спектры представлены в электронном приложении) [14].

Микробиологическую чистоту сырья оценивали в соответствии с ОФС.1.2.4.0002.18 «Микробиологическая чистота». Образец высушенного сырья массой 10.0 г помещали в 100 мл стерильного 0.9%-го раствора натрия хлорида (Солофарм, Россия). Колбу с исследуемым образцом встряхивали на шейкере в течение 15 мин. Смыв считали разведением 1 : 10, из которого готовили разведения 1 : 1000 и 1 : 10000.

Удельную активность цезия-137 и стронция-90 определяли с помощью спектрометра-радиометра гамма-, бета- и альфа-излучения МКГБ-01 «РАДЭК» (НТЦ РАДЭК, Россия).

Метод газожидкостной хроматографии с масс-детектированием (ГЖХ-МС) использовался для оценки количества гексахлорциклогексана (ГХЦГ) (α-, β-, γ-изомеры), дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ) и его метаболитов, гексахлорбензола, гептахлора, алдрина. Определение проводили с помощью газового хроматографа Agilent 7890B (AC Analytical Controls BV, Нидерланды) с масс-селективным детектором 7010B GC/MS Triple Quad (Agilent Technologies Inc., США). В качестве стандартных веществ использовались соответствующие государственные стандартные образцы (ООО «Научно-производственный и аналитический центр «Эколан», Россия).

Тяжелые металлы (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть) определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией модификаций МГА-915, МГА-915М, МГА-915МД, МГА-1000 (ЛЮМЭКС, Россия).

Статистическая обработка проводилась с применением пакета «Microsoft Office 20» и программы GraphPad Prism 10. Все числовые данные подчинялись закону нормального распределения (согласно критерию Шапиро-Уилка при статистически значимых различиях $p<0.05$), поэтому в работе представлены в виде средних значений и стандартных отклонений.

Результаты и их обсуждение

Кожура (лат. cortex et parenchymatis) – наружная часть клубня (видоизмененного побега), содержащая вторичную покровную ткань – перидерму (пробку), основную ткань – запасающую паренхиму и проводящие элементы (в том числе сосуды).

Цельное сырье представляло собой кусочки кожуры различной формы. Наружная поверхность темно-коричневая, серо-бурая, неровная. Может отмечаться блестящий налет. Излом зернистый, бурый. Запах слабый, своеобразный. Измельченное сырье – кусочки кожуры, проходящие сквозь сито с отверстиями размером 5 мм. Коэффициент поглощения экстрагента для раствора 5%-й уксусной кислоты водной составил 2.75.

На срезе свежего сырья найдена характерная микрокартина расположения ксилемных участков в клубне. Были обнаружены сосуды с различными утолщениями клеточных стенок: кольчатые, спиральные, двуспиральные. Боковые участки не содержали проводящих элементов и характеризовались наличием крупных паренхимных клеток, включающих крахмальные зерна.

Микроскопические признаки высушенного цельного растительного сырья составляли совокупность участков паренхимы и перидермы. Паренхимные клетки включали крахмальные зерна. Клетки перидермы отличались суберинизированными клеточными стенками.

Наружная часть перидермы включала почки, размеры которых составляли 0.3179±0.09 мм^2.

Внутренняя поверхность кожуры содержала признаки организации хлоропластов. Основная запасающая паренхима, включающая крахмальные зерна, под действием света реорганизовывалась в хлоренхиму: лейкопласты клетки трансформировались в хлоропласты. Данный процесс отражен на микрокартине.

Наличие процесса организации лейкопластов в хлоропласты в связи с особенностями пробоподготовки сырья (инсоляции) может служить показателем качества кожуры, так как сопряжен с биосинтезом основной группы БАВ – ГА. Описанный факт также объясняет наличие хлорофилла в растительном сырье.

Наличие проводящих элементов на микрокартине объясняется произведением среза сырья на апикальных частях клубня, где затрагивается проводящая система органа. Боковые части клубня не имеют данного микроскопического признака. Наличие сосудов с кольцевыми утолщениями на глубине среза отличало описываемое сырье от близкой морфологической группы – коры (микрокартины представлены в приложении).

Высушенное измельченное сырье отличалось наличием обрывков перидермы, измельченных паренхимных клеток, крахмальных зерен. Заметны кольцевые утолщения проводящих элементов.

В результате определения числовых показателей сырья получили следующие данные: влажность – 5.89±0.15%; зола – 12.80±0.08%; зола, нерастворимая в хлористоводородной кислоте – 1.73±0.37%.

Результатом микрохимической реакции по В.Н. Ниловой стало розовое окрашивание клеток, содержащих ГА, исчезающее со временем (рис. 2).

Обнаружение основных групп БАВ осуществлялось методом ТСХ. После хроматографирования испытуемого раствора (экстракта, содержащего ГА) на пластинке после проявления обнаруживались зоны адсорбции оранжевого цвета на уровне соответствующих зон СО α-соланина и α-чаконина. Величины Rf

составили 0.55 и 0.73 соответственно (коэффициент разделения 0.75). На хроматограмме ГК отмечалась голубая флуоресценция на уровне СО кофейной кислоты. Величина Rf составила 0.98. Методом ВЭЖХ-МС/МС подтвердилось наличие ГА в испытуемом растворе экстракта с временами удерживания аналогичными СО (α-соланина и α-чаконина) (4.79±0.020 мин, 4.78±0.012 мин соответственно). Содержание суммы ГА в сырье составило 40.40 мг±4.57 мг в 100 г сырья (α-соланина и α-чаконина – 11.58±1.18% и 23.31±2.86%) (примеры хроматограмм растворов СО ГА и соланидина, а также экстракта приведены на рисунке 3).

В таблице 1 представлены результаты качественного анализа сопутствующих БАВ в высушенном растительном сырье.

Согласно полученным данным, кожура удовлетворяла требованиям ГФ XV к лекарственному растительному сырью. Так, по данным оценки микробиологической чистоты цельного сырья, общее число аэробных микроорганизмов составило $5.34 \cdot 10^5$ КОЕ в 1.0 г. Не обнаружены *Escherichia coli,* бактерии рода *Enterobacter*, устойчивых к желчи, а также дрожжевые и плесневые грибы.

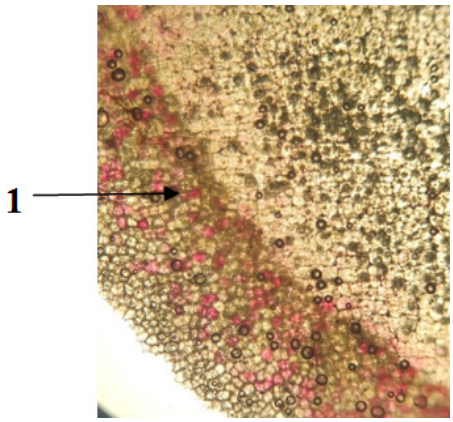


Рис. 2. Микрохимическая реакция по В.Н. Ниловой. 1 – эффект реакции (розовое окрашивание)

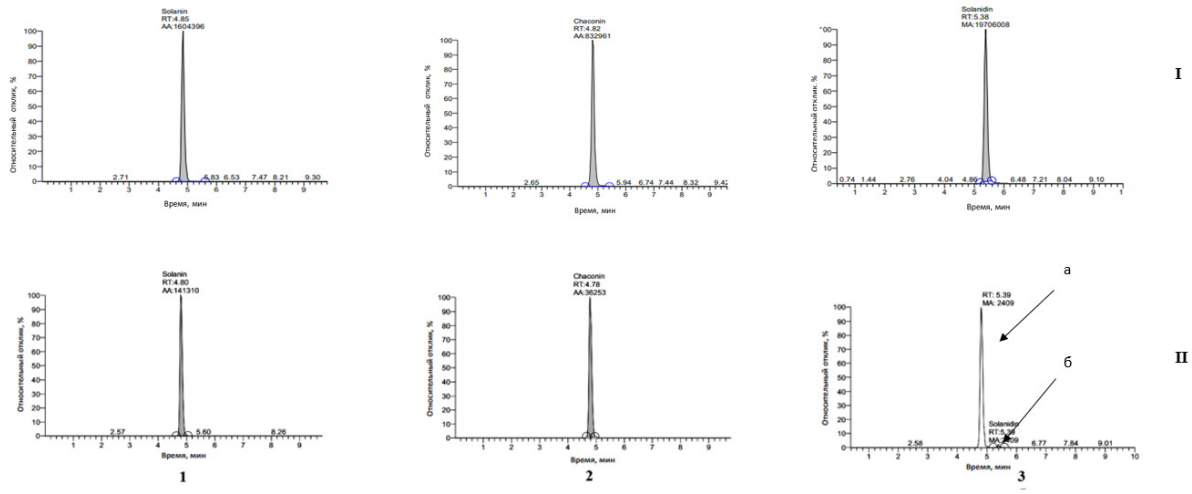


Рис. 3. Примеры хроматограмм растворов СО ГА и соланидина (I), а также ГА-содержащего экстракта (II) (1 – α-соланина, 2 – α-чаконина, 3 – соланидин (а – пик соланидина, образовавшийся в результате распада α-соланина, α-чаконина, б – пик соланидина, содержащегося в экстракте)

Таблица 1. Результаты качественных реакций на сопутствующие групп БАВ в растительном сырье

Группа БАВ	Эффект качественной реакции	Вывод о наличии вещества
Белок	Синее окрашивание водного извлечения	+
Хлорофилл	Красная флуоресценция гексанового извлечения	+
Крахмал	Синее окрашивание излома кожуры	+
Дубильные вещества	Отсутствовали специфические эффекты	– *
Флавоноиды	Отсутствовали специфические эффекты	– *

Примечание: * – не говорит об отсутствии описанных соединений, но может свидетельствовать о низком их содержании (ниже определяемого минимума реакции).

Содержание токсичных элементов, таких как свинец, мышьяк, кадмий, ртуть, соответствовало гигиеническим требованиям безопасности и составляло менее 0.05, 0.01, 0.01, 0.0025 мг/кг соответственно. Удельная активность радионуклидов (цезия-137 и стронция-90) не превышала допустимые 1 и 2 Бк/кг соответственно. Остаточные количества пестицидов, теоретически используемых при выращивании картофеля, соответствовало требованиям ГФ XV. В сырье не обнаружены α-, β-, γ-изомеры ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты, гексахлорбензол, гептахлор, алдрин.

Создание новых фармацевтических субстанций, в том числе на основе продуктов растительного происхождения, актуально в связи до сих пор не решенными проблемами фармакотерапии, такими как увеличивающаяся антибиотикорезистентность микроорганизмов [15–17] или высокая токсичность [18] и стоимость [19] противоопухолевых синтетических лекарственных средств. ГА растений семейства Пасленовые являются обнадеживающими фармакологическими агентами из-за выраженной активности, широко спектра эффектов [2–4] и высокой экономической доступности исходного сырья, а также метода получения экстрактов, содержащих сумму данных веществ. Однако вопрос стандартизации сырья – источника ГА является открытым [11].

В настоящем исследовании определены макро- и микроскопические признаки сырья, характеризующие его как отдельную морфологическую группу, отличную от существующих на данный момент в нормативной документации и специализированной литературе.

Для обнаружения основных групп БАВ в исследовании использованы высокочувствительные методы анализа: ТСХ и ВЭЖХ-МС/МС.

Одним из показателей качества лекарственного растительного сырья является нормирование допустимых примесей. Однако кожура клубней является продуктом переработки пищевого растения, которое поступает в оборот с характеристиками, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 7176-2017. Таким образом, исключается возможность наличия других ядовитых растений. Также возможно различное макроскопическое состояние сырья ввиду использования разных сортов растений. Так, например, невозможно регламентирование присутствия частей сырья, изменивших окраску, присущую данному виду растительного сырья.

Таким образом, исследуемое растительное сырье обладает специфическими микроскопическими признаками, содержит несколько групп БАВ, отвечает требованиям ГФ XV по числовым показателям и безопасности и может служить источником ГА с целью дальнейшего скрининга фармакологических эффектов его экстрактов. В случае выявления последних создаются предпосылки для создания частной фармакопейной статьи на кожуру клубней картофеля клубненосного. Однако для ее написания необходимо проанализировать и стандартизировать дополнительно другие сорта изучаемого растения, так как содержание ГА может значительно варьировать от сорта к сорту в пределах от 84 до 2226 мг/кг высушенной кожуры [20]. На основании полученных результатов была разработана спецификация на растительное сырье-источник ГА, представленная в таблице 2.

Таблица 2. Спецификация на растительное сырье-источник ГА (кожуру клубней картофеля клубненосного)

Показатель качества	Нормы показателя качества по ГФ	Значения показателя качества экспериментального сырья	Допустимые пределы значений показателя качества при разработке проекта фармакопейной статьи
1	*2*	*3*	*4*
Макроскопические признаки			
Цельное сырье	–	Кусочки кожуры различной формы. Наружная поверхность темно-коричневая, серо-бурая, неровная, включает почки. Возможен блестящий налет. Внутренняя поверхность – светло-коричневая, серая, содержит участки зеленой паренхимы. Излом ровный, светло-коричневый. Запах слабый, своеобразный.	
Измельченное сырье	–	Кусочки кожуры, проходящие сквозь сито с отверстиями размером 5 мм.	
Микроскопические признаки	–	Совокупность участков паренхимы и перидермы. Паренхимные клетки включают крахмальные зерна. Наружняя часть перидермы включает почки. Внутренняя поверхность кожуры содержит признаки организации хлоропластов.	

Окончание таблицы 2

1	*2*	*3*	*4*
Влажность	–	5.89±0.15%	Не более 6.50%
Зола	–	12.80±0.083%	Не более 13.00%
Зола, нерастворимая в хлористоводородной кислоте	–	1.73±0.37%	Не более 2.50%
Минеральная примесь*	Не более 1%	0.87±0.031%	Не более 1.00%
Сумма ГА	–	40.40±4.57 мг/100 г	Не менее 35.50%[#]
Радионуклиды**			
Cs-137	Не более 400 Бк/кг	1 Бк/кг	Не более 400 Бк/кг
Sr-90	Не более 200 Бк/кг	2 Бк/кг	Не более 200 Бк/кг
Пестициды***			
Гексахлорциклогексан и его изомеры (в сумме)	0.10 мг/кг	Отсутствие	0.10 мг/кг
ДДТ и его метаболиты (в сумме)	0.10 мг/кг	Отсутствие	0.10 мг/кг
Алдрин	Не допускается	Отсутствие	Не допускается
Гептахлор	Не допускается	Отсутствие	Не допускается
Тяжелые металлы****			
Свинец	6.0 мг/кг	Менее 0.050 мг/кг	6.0 мг/кг
Кадмий	1.0 мг/кг	Менее 0.010 мг/кг	1.0 мг/кг
Ртуть	0.10 мг/кг	Менее 0.0025 мг/кг	0.10 мг/кг
Мышьяк	0.50 мг/кг	Менее 0.50 мг/кг	0.50 мг/кг
Микробиологическая чистота*****			
Общее число аэробных микроорганизмов	Не более 10^5 КОЕ в 1.0 г	0.34±0.22*10^5КОЕ в 1.0 г	Не более 10^5 КОЕ в 1.0 г
Общее число дрожжевых и плесневых грибов	Не более 10^4 КОЕ в 1 г	Отсутствие	Не более 10^4 КОЕ в 1 г
Энтеробактерий, устойчивых к желчи	Не более 10^3 КОЕ в 1 г	Отсутствие	Не более 10^3 КОЕ в 1 г
Escherichia coli в 1 г	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие
Бактерии рода *Salmonella* в 25 г	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие

Выводы

Проведена стандартизация растительного сырья-источника ГА – кожуры клубней картофеля клубненосного (*Solanum tuberosum, f. Solanaceae*), что позволит судить о достоверности и воспроизводимости получаемых в дальнейшем результатов доклинических исследований. Разработанная спецификация ляжет в основу написания проекта фармакопейной статьи на растительное сырье-источник ГА.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: https://www.doi.org/10.14258/jcprm.20260417352s) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Рязанского государственного медицинского университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы предоставите соответствующие ссылки на автора(ов), источник и Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Zhang Z. D., Shi Y., Wu J-J., Lin J-R., Tian W-S. Synthesis of Demissidine and Solanidine // Org Lett. 2016. Vol. 18, no.12. Pp. 3038–3040. https://doi.org/10.1021/acs.orglett.6b01320.
2. Von Fournier A., Kasemo T.E., Hackenberg S., Wilhelm C., Meyer T., Gehrke T., Hagen R., Scherzad A. Effects of α-solanine on human head and neck squamous cell carcinoma cells and human umbilical vein endothelial cells in vitro // Oncol. Lett. 2024. Vol. 28, no. 2. 400. https://doi.org/10.3892/ol.2024.14533.
3. Feng S., Ren M., Chen S., Wang B., Zhang Y., Zhang G. Study on the apoptosis of human melanoma cells induced by solanine in vitro and its mechanisms // Arch. Dermatol. Res. 2024. Vol. 317, no. 1. 163. https://doi.org/10.1007/s00403-024-03665-y.
4. Воронов В.А., Поздняков Д.И., Золотых Д.С., Дайронас Ж.В., Черников М.В. Холинергические эффекты алкалоидов *Solanum tuberosum* L. // Вестник новых медицинских технологий. 2023. Т. 30, №1. С. 75–79.
5. Desfosses M. EXAMEN CHIMIQUE Du principe narcotique de la Morelle noire (sola-num nigrum), suivi de quelques expériences sur l'action de ce principe sur l'économie animale; par M. DESFOSSES, pharmacien à Besançon. // Nouveau journal de médecine, chirurgie, pharmacie. 1821. Vol. 11. P. 67.
6. Sbhatu D.B., Abraha H.B. Preliminary antimicrobial profile of *Solanum incanum* L.: A common medicinal plant // Evidence based Complementary and Alternative Medicine. 2020. Vol. 1. 3647065. https://doi.org/10.1155/2020/3647065.
7. Femi-Adepoju A., Adepoju A., Fadiji A.E. Antimicrobial Potential and Biochemical Profile of Methanolic Extracts of Common Solanum Species in Nigeria // Review Study on the Biomedical Potentials of Seaweeds Species. Pharmacog. Rev. 2023. Vol. 17, no. 34. Pp. 320–331.
8. Черных И.В., Щулькин А.В., Якушева Е.Н., Кириченко Е.Е., Попова Н.М., Есенина А.С., Градинарь М.М. Влияние гидролизата полисахаридного комплекса цветков пижмы обыкновенной (tanacetum vulgare) на активность ABCBl-белка *in vivo* // Наука молодых. 2019. Т. 7, №3. С. 349–357. https://doi.org/10.23888/HMJ201973349-357.
9. Дурнев А.Д., Лапицкая А.С. Генотоксикология соединений растительного происхождения // Экологическая генетика. 2012. Т. 10, №3. С. 41–52. https://doi.org/10.17816/ecogen10341-52.
10. Friedman M. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet // Journal of agricultural and food chemistry. 2006. Vol. 54, no. 23. Pp. 8655–8681. https://doi.org/10.1021/jf061471t.
11. Острикова Т.О., Богомолов Н.Г., Щулькин А.В., Мыльников П.Ю., Черных И.В. Разработка методики жидкостной экстракции суммы гликоалкалоидов из кожуры клубней картофеля клубненосного (Solanumtuberosum, F. Solanaceae) // Химия растительного сырья. 2025. №1. С. 254–265. https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115267.
12. Silva-Beltrán N.P., Chaidez-Quiroz C., Lopez-Cuevas O., Ruiz-Cruz S., Lopez-Mata M.A., Del-Toro-Sanchez C.L., Marquez-Rios E., de Ornelas-Paz J. Phenolic compounds of potato peel extracts: Their antioxidant activity and protection against human enteric viruses // Journal of microbiology and biotechnology. 2017. Vol. 27, no. 2. Pp. 234–241. https://doi.org/10.4014/jmb.1606.06007.
13. Гурова Т.А., Чесноченко Н.Е. Флуоресценция хлорофилла листьев пшеницы при инфицировании *Bipolaris sorokiniana*, хлоридном засолении и гипертермии семян // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52, №6. С. 12–28. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-2.
14. Острикова Т.О., Богомолов Н.Г., Мыльников П.Ю., Щулькин А.В., Черных И.В. Разработка и валидация методики количественного определения α-соланина, α-чаконина, соланидина в экстрактах из кожуры клубней картофеля клубненосного методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и тандемной масс-спектрометрии // Фармация и фармакология. 2024. Т. 12, №2. С. 117–130. https://doi.org/10.19163/2307-9266-2024-12-2-117-130.
15. Луценко А.В., Ясенявская А.Л., Самотруева М.А. Молекулярные механизмы противомикробной защитной стратегии бактериальной клетки // Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2025. Т. 33, №1. С. 133–144. https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ569343.
16. Elshobary M.E., Badawy N.K., Ashraf Y. et al. Combating antibiotic resistance: Mechanisms, multidrug-resistant pathogens, and novel therapeutic approaches: An updated review // Pharmaceuticals. 2025. Vol. 18, no. 3. 402. https://doi.org/10.3390/ph18030402.
17. Дикарева И.М. Стратегия предупреждения антибиотикорезистентности на период до 2030 года // Российский педиатрический журнал. 2025. Т. 28, №1S. С. 37–37.
18. Besora S., Garcilazo-Reyes Y., Velasco R. Methotrexate-induced neurotoxicity in oncology: Current issues for a classic drug // Journal of the Neurological Sciences. 2025. 123514.
19. Уваров Д.А. Глобальный рынок моноклональных антител: продажи, цены, потребность // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2021. Т. 18, №2. С. 64–76.
20. Friedman M., Roitman J.N., Kozukue N. Glycoalkaloid and Calystegine Contents of Eight Potato Cultivars // Journal of agricultural and food chemistry. 2003. Vol. 51, no. 10. Pp. 2964–2973. https://doi.org/10.1021/jf021146f.

Поступила в редакцию 31 мая 2025 г.

После переработки 9 февраля 2026 г.

Принята к публикации 14 мая 2026 г.

Ostrikova T.O., Bogomolov N.G., Sofronova A.I., Fomicheva D.A., Yevdokimova O.V., Chernykh I.V.*

STANDARDIZATION OF GLYCOALKALOID-CONTAINING PLANT MATERIAL – POTATO TUBER PEEL (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)

Ryazan State Medical University, st. Vysokovoltnaya, 9, Ryazan, 390026, Russia, nikita.bogomolov50@gmail.com

The peel of tuber potatoes (Solanum tuberosum) is a source of glycoalkaloids (GA): α-solanine and α-chaconine, which have potential pharmacological activity. Currently, this plant material is not pharmacopoeial, so the aim of this work was to standardize it.

Dried peel of Gala potato tubers insolated with natural radiation was used. Standardization was carried out according to the following parameters: macro- and microscopic description, humidity, total ash and ash insoluble in HCl, microbiological purity, radionuclides, residual pesticides, heavy metals, mineral impurities, the presence of some groups of biologically active substances: protein (Bradford reagent), starch (Lugol's solution), hydroxycinnamic acids (HA) and GA (thin-layer chromatography), chlorophyll (by characteristic fluorescence). The content of the sum of GA was estimated by the method of high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry.

As a result of the work, the indicators of the authenticity of the raw material were established – the presence of starch grains on the micropicture, the organization of leukoplasts into chloroplasts, ring and double-spiral thickenings. Numerical indicators of the raw material: humidity – 5.89±0.15%; ash – 12.80±0.08%; ash insoluble in HCl – 1.73±0.37%. Protein, starch, GA, GA, chlorophyll were found in the dried peel. The quantitative content of the sum of GA was 40.40±4.57 mg in 100.0 g of raw material. Microbiological purity, radionuclides, residual pesticides, heavy metals met the requirements of general pharmacopoeial articles.

Thus, standardization of potato tuber peel as a potential source of GA was carried out.

Keywords: α-solanine, α-chaconine, standartisation, glycoalkaloids, solanum tuberosum, solanaceae

For citing: Ostrikova T.O., Bogomolov N.G., Sofronova A.I., Fomicheva D.A., Yevdokimova O.V., Chernykh I.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 4, Online First. (in Russ.). https://doi.org/10.14258/jcprm.20260417352.

References

1. Zhang Z. D., Shi Y., Wu J-J., Lin J-R., Tian W-S. *Org Lett*., 2016, vol. 18, no.12, pp. 3038–3040. https://doi.org/10.1021/acs.orglett.6b01320.
2. Von Fournier A., Kasemo T.E., Hackenberg S., Wilhelm C., Meyer T., Gehrke T., Hagen R., Scherzad A. *Oncol. Lett*., 2024, vol. 28, no. 2, 400. https://doi.org/10.3892/ol.2024.14533.
3. Feng S., Ren M., Chen S., Wang B., Zhang Y., Zhang G. *Arch. Dermatol. Res*., 2024, vol. 317, no. 1, 163. https://doi.org/10.1007/s00403-024-03665-y.
4. Voronov V.A., Pozdnyakov D.I., Zolotykh D.S., Dayronas Zh.V., Chernikov M.V. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2023, vol. 30, no. 1, pp. 75–79. (in Russ.).
5. Desfosses M. *Nouveau journal de médecine, chirurgie, pharmacie*, 1821, vol. 11, p. 67.
6. Sbhatu D.B., Abraha H.B. *Evidence based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, vol. 1, 3647065. https://doi.org/10.1155/2020/3647065.
7. Femi-Adepoju A., Adepoju A., Fadiji A.E. *Review Study on the Biomedical Potentials of Seaweeds Species. Pharmacog. Rev*., 2023, vol. 17, no. 34, pp. 320–331.
8. Chernykh I.V., Shchul'kin A.V., Yakusheva Ye.N., Kirichenko Ye.Ye., Popova N.M., Yesenina A.S., Gradinar' M.M. *Nauka molodykh*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 349–357. https://doi.org/10.23888/HMJ201973349-357. (in Russ.).
9. Durnev A.D., Lapitskaya A.S. *Ekologicheskaya genetika*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 41–52. https://doi.org/10.17816/ecogen10341-52. (in Russ.).
10. Friedman M. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2006, vol. 54, no. 23, pp. 8655–8681. https://doi.org/10.1021/jf061471t.
11. Ostrikova T.O., Bogomolov N.G., Shchul'kin A.V., Myl'nikov P.Yu., Chernykh I.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2025, no. 1, pp. 254–265. https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115267. (in Russ.).
12. Silva-Beltrán N.P., Chaidez-Quiroz C., Lopez-Cuevas O., Ruiz-Cruz S., Lopez-Mata M.A., Del-Toro-Sanchez C.L., Marquez-Rios E., de Ornelas-Paz J. *Journal of microbiology and biotechnology*, 2017, vol. 27, no. 2, pp. 234–241. https://doi.org/10.4014/jmb.1606.06007.
13. Gurova T.A., Chesnochenko N.Ye. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2022, vol. 52, no. 6, pp. 12–28. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-2. (in Russ.).
14. Ostrikova T.O., Bogomolov N.G., Myl'nikov P.Yu., Shchul'kin A.V., Chernykh I.V. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 117–130. https://doi.org/10.19163/2307-9266-2024-12-2-117-130. (in Russ.).
15. Lutsenko A.V., Yasenyavskaya A.L., Samotruyeva M.A. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik im. akademika I.P. Pavlova*, 2025, vol. 33, no. 1, pp. 133–144. https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ569343. (in Russ.).
16. Elshobary M.E., Badawy N.K., Ashraf Y. et al. *Pharmaceuticals*, 2025, vol. 18, no. 3, 402. https://doi.org/10.3390/ph18030402.
17. Dikareva I.M. *Rossiyskiy pediatricheskiy zhurnal*, 2025, vol. 28, no. 1S, pp. 37–37. (in Russ.).
18. Besora S., Garcilazo-Reyes Y., Velasco R. *Journal of the Neurological Sciences*, 2025, 123514.
19. Uvarov D.A. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova*., 2021, vol. 18, no. 2, pp. 64–76. (in Russ.).

* Corresponding author.

20. Friedman M., Roitman J.N., Kozukue N. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2003, vol. 51, no. 10, pp. 2964–2973. https://doi.org/10.1021/jf021146f.

Received May 31, 2025

Revised February 9, 2026

Accepted May 14, 2026

Сведения об авторах

Острикова Татьяна Олеговна – ассистент кафедры фармацевтической химии и фармакогнозии, tostrikova0@gmail.com

Богомолов Никита Геннадьевич – ассистент кафедры фармацевтической химии и фармакогнозии, nikita.bogomolov50@gmail.com

Софронова Алена Игоревна – студент, sofronova2067@gmail.com

Фомичева Дарья Алексеевна – студент, Dafomi4eva@yandex.ru

Евдокимова Ольга Валерьевна – кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой микробиологии, nikita.bogomolov50@gmail.com

Черных Иван Владимирович – доктор биологических наук, заведующий кафедрой фармацевтической химии и фармакогнозии, ivchernykh88@mail.ru

Information about authors

Ostrikova Tatyana Olegovna – Assistant, Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy, tostrikova0@gmail.com

Bogomolov Nikita Gennadyevich – Assistant, Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy, nikita.bogomolov50@gmail.com

Sofronova Alyona Igorevna – Student, sofronova2067@gmail.com

Fomicheva Darya Alekseevna – Student, Dafomi4eva@yandex.ru

Evdokimova Olga Valeryevna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Microbiology, nikita.bogomolov50@gmail.com

Chernykh Ivan Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy, ivchernykh88@mail.ru