

ОБЗОРЫ

Обзорная статья
УДК 581.6
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-257-268



Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.): исторические и современные направления использования

М. М. Силантьева, О. Н. Мироненко, Ю. Р. Полтарацкая

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Михайловна Силантьева, msilan@mail.ru

Статья содержит аналитический обзор по истории и современным перспективам использования одного из известнейших и широко распространенных во многих регионах земного шара растения – хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.). Его применяют и окультуривают уже тысячи лет. Большая часть мирового ареала вида является культивируемой. Хмель использовался в пивоварении, хлебопечении (компонент закваски для хлеба), а также как пищевое, антимикробное, седативное и снотворное средство, кормовое и лекарственное растение для животных, при производстве бумаги, краски, проведении традиционных обрядов. Возможности современных методов изучения химического состава хмеля возродили интерес к растению и значительно расширили потенциал его использования при производстве оригинальных сортов пива и функциональных продуктов питания, натуральных гигиенических средств, в косметологии и особенно в медицине. Анализ обширной библиографии по изучению вторичных метаболитов хмеля, относимых более чем к 20 классам органических веществ, показывает новые перспективы их применения в противовоспалительной и заместительной гормональной терапии, при лечении метаболического синдрома, онкологических заболеваний, а также в создании натуральных инсектицидов.

Ключевые слова: хмель обыкновенный, традиционное использование, вторичные метаболиты, фармакологические свойства

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10040 (<https://rscf.ru/project/23-64-10040>).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Силантьева М.М., Мироненко О.Н., Полтарацкая Ю.Р. Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.): исторические и современные направления использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(4):257-268. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-257-268

SURVEYS

Review article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-257-268

Common hop (*Humulus lupulus* L.): historical and contemporary utilization trends

Marina M. Silantyeva, Olga N. Mironenko, Yulia R. Poltaratskaya

*Altai State University, Barnaul, Russia***Corresponding author:** Marina M. Silantyeva, msilan@mail.ru

An analytical review is presented to highlight the history and current utilization prospects for one of the most popular and widespread crop plants in many regions of the globe – the common hop (*Humulus lupulus* L.). It has been used and cultivated for thousands of years. A greater part of its worldwide area of distribution is cultigenic. Common hop was used in brewing and in breadmaking (as a leaven component), served as a nutritional, antimicrobial, sedative or hypnotic agent, and was cultivated for animal feed and medicine, for paper and paint production, and for traditional rituals. The possibilities offered by modern methods in the analysis of the crop's chemical composition have revived the interest in common hop and significantly expanded its potential for the development of original beer varieties and functional foods, natural hygienic and cosmetic products, and especially pharmaceuticals. The analysis of an extensive bibliography dedicated to studying secondary metabolites in common hop (representing more than 20 classes of organic compounds) showed new prospects of its utilization in anti-inflammatory and hormone substitution therapies, treatment of metabolic syndrome and cancer, and natural insecticide production.

Keywords: common hop, traditional uses, secondary metabolites, pharmacological properties

Acknowledgements: the study was funded by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-64-10040 (<https://rscf.ru/en/project/23-64-10040>).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Silantyeva M.M., Mironenko O.N., Poltaratskaya Yu.R. Common hop (*Humulus lupulus* L.): historical and contemporary utilization trends. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(4):257-268. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-257-268

Введение

В истории человечества происходил непрерывный процесс накопления и передачи из поколения в поколение знаний о свойствах растений и их применении, а устойчивые технологии использования вырабатывались тысячелетиями. Одно из растений, широко используемых с древних времен, – хмель. За многовековую практику применения некоторые его свойства получили приоритет, и на них завязаны целые отрасли хозяйственной деятельности, например пивоварение – в свое время использование хмеля произвело революцию в производстве пива, поскольку помимо придания напитку характерного вкуса и аромата, оно позволило повысить его сохранность. В то же время исторически применение хмеля отличалось большим разнообразием, но со временем отдельные способы использования были несильно забыты. Возможности современных методов изучения химического состава хмеля возродили интерес к растению и значительно расширили потенциал использования хмелепродуктов в производстве функциональных продуктов питания, натуральных гигиенических средств, в косметологии и особенно в медицине.

Небольшой по количеству видов род Хмель (*Humulus* L.) – это двудомные травянистые растения, произрастающие в умеренных широтах Северного полушария и натурализовавшиеся в регионах Южного полушария. Число видов, признаваемых в роде, варьирует от одного до десяти; чаще всего систематики признают три вида (Neve, 1976; <https://about.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000018428-2024-12>). В настоящее время род относится к семейству Cannabaceae Martinov. порядка Rosales Bercht. & J. Presl., а ранее относился к порядку Urticales Juss. ex Bercht. & J. Presl.

Хмель обыкновенный (*H. lupulus* L.) – это типовой вид рода, распространенный в умеренных областях Европы, Западной Азии и Северной Америки. Исследователи разделили *H. lupulus* на множество различных таксономических комбинаций (подвидов и/или разновидностей), основанных главным образом на географических и морфологических различиях (Neve, 1976; Tembrock et al., 2016; <http://www.ipni.org>). Жизненная форма хмеля обыкновенного – многолетняя травянистая лиана, возраст которой может превышать 20 лет (Latypova et al., 2012). Ареал вида определяется как естественными факторами – эффективным способом распространения (семенами и вегетативно), значительной экологической амплитудой, большим диапазоном климатических и почвенных показателей, так и историей культивирования. Причем деятельность человека привела к тому, что большая часть мирового ареала данного вида, благодаря тысячелетнему использованию в повседневной практике человека, является культивируемой (Silantyeva et al., 2024).

Производство хмеля в мире на 70% сосредоточено в США, Германии, Чехии, Польше и Китае. США – крупнейший производитель хмеля в мире, ежегодно производящий более половины мирового урожая этой культуры. Площади хмельников в мире в последние годы составляют более 60 тыс. га. В России производится менее 10% хмеля, потребляемого в производстве, и основными странами-экспортерами являются Германия, Беларусь, США (Afanaseva et al., 2022). Лидером по площади насаждений хмеля является Чувашская Республика – около 90% (Afanaseva et al., 2023). Также хмель возделывается в Краснодарском крае, Липецкой области, Республика Алтай и Марий Эл. Площадь хмельников в России по ито-

гу 2024 г. составила 332,4 га. Для импортозамещения в ближайшие несколько лет требуется не менее 20 млн саженцев.

В Государственном реестре сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию в Российской Федерации, представлено 29 сортов хмеля, из которых отечественных только 16 сортов (State Register..., 2024). В то же время, например, в Великобритании на сегодняшний день возделываются 34 сорта хмеля, а в британской коллекции хмеля насчитывается 360 исторических сортов, включая старейший образец сорта ‘Golding’, относящийся к 1790 г. (<https://www.britishhops.org.uk/contact>). Единственная зарегистрированная отечественная коллекция хмеля находится в Чувашском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. В дескрипторе коллекции – 248 образцов хмеля (Standard operating procedure..., 2019).

В стране, где дикорастущие популяции хмеля, особенно на юге Западной Сибири, обширны и дают значительное количество биомассы, имеются огромные перспективы для вовлечения новых генетических ресурсов в селекцию и использования их потенциала в различных сферах производства (Silantyeva et al., 2024).

Цель работы – аналитический обзор исторических и перспективных направлений использования хмеля с учетом выявленного в последние годы химического состава.

Основная часть

История использования

В настоящее время сложно определить условия и временной период применения хмеля в быту и повседневной жизни разных народов. В основном хмель связывают с пивоварением – одним из самых ранних биотехнологических процессов. Имеются свидетельства пивоварения 8000-летней давности на Ближнем Востоке. Этот процесс был хорошо известен в Египте и древней Месопотамии примерно за 5000 лет до н. э. (Edwardson, 1952; Hornsey, 2003). Известно, что Египет эпохи Нового царства (1550–1069 гг. до н. э.) экспортировал пиво в Средиземноморье (Hornsey, 2003). Особо популярным хмель стал, когда были замечены его антибактериальные свойства для сохранения пива.

Хотя пыльцу хмеля обнаружили в значительном количестве еще в неолитических поселениях Европы, уверенные доказательства выращивания *H. lupulus* в Европе до нашей эры отсутствуют. В быту, возможно, использовался дикорастущий хмель (Wilson 1975; Korpelainen, Pietyläinen, 2021). Хмель в сочетании с пивоварением впервые упоминается в 736 г. н. э. в монастырском документе из региона Халлертау в Баварии (Hornsey 2003).

А. Декандоль (De Candolle, 1885) упоминает об употреблении пивных напитков в средневековье: «кельты, германцы и другие народы севера и юга» занимались пивоварением. Ранние сведения о культивировании хмеля установлены для Баварии и принадлежат к 859 г. В VIII и IX в. хмель выращивался в монастырских садах Европы и, прежде всего, использовался в медицине французскими и немецкими монахами (Howard, 1964; DeNoma, 2000). О консервации пива хмелем упоминает немецкая монахиня Хильдегарда Бингенская (1098–1179 гг. н. э.) – как о средстве, препятствующем порче напитков (Cornell, 2001). Также хмелю были определены свойства против «черной желчи», или меланхолии (Quer, 1995).

Некоторые исследователи указывают, что на Руси так же, как и в Европе, именно монастыри стали центрами производства хмеля, а священнослужители совершали торговлю. Наименование «Хомел» запечатлено в двух новгородских берестяных грамотах (ALANICA..., 2017).

По некоторым данным, с IX по XII в. выращивание хмеля в Европе сосредоточилось в Богемии (Чехия), Словении и Баварии (Hilton, 2001). С XII–XIII вв. хмель получил более широкое распространение и вышел за пределы монастырских хозяйств (Howard, 1964). *H. lupulus* имеет долгую историю культивирования в Северной Европе. Норвежский документ от 1311 г. упоминает о выращивании хмеля в монастыре в Тронхейме (Hognsey, 2003).

На Британских островах (Англия) хмель использовался, вероятно, уже с X в., о чем свидетельствует палинологический анализ материалов с заброшенного судна в графстве Кент. Возможно, судно переправляло хмель для пивоварения, что может указывать на наличие торговли хмелем в Европе (Wilson, 1997). Но, несмотря на это свидетельство, в Англии достаточно поздно наступила эпоха хмельных напитков. Долгое время добавление хмеля к пиву («элю»), от скандинавского «öl» – напиток викингов) запрещалось. Изначально эль изготавливался из солода или смеси ячменя и меда, приправлялся ароматными травами. С 1520 г., когда переселенцы из Фландрии привезли с собой новые сорта хмеля и знания о культивировании и пивоварении, произошла революция в производстве английского пива. Коммерческие площади хмеля здесь появились в 1552 г., когда Эдуард VI принял закон, разрешавший использование хмеля (Howard, 1964; Neve, 1976).

Во время колонизации Нового Света европейцы завезли местные европейские сорта хмеля и агротехнические приемы. В 1629 г. из Англии хмель был завезен в США (Carter et al., 1990; Perry, 1994; DeNoma, 2000). Культивирование хмеля началось в 1648 г. в Массачусетсе, но более распространенным оно стало в XIX в. (Duke, 1983). Широкое коммерческое выращивание хмеля началось с Нью-Йорка в 1808 г. и распространялось на запад и юг (DeNoma, 2000).

Английские колонисты завезли культуру хмеля в Южную Африку, Австралию и Новую Зеландию около 1800 г. (Neve, 1976; DeNoma, 2000). Несколько позже – в 1860–1870 гг. – немцы завезли хмель в Китай и Корею. С 1876 г. японцы начали возделывать американские и немецкие сорта хмеля (DeNoma, 2000).

Использование хмеля в России началось более 10 веков назад. Квас и пиво издревле занимали важнейшую нишу в структуре рациона русского населения. Древняя Русь имела наименование «пиво» в своем обиходе, однако в X–XI вв. это слово значило всякое питье, напиток в широком смысле слова. Аналог современного пива именовался «ол» и изготавливался с добавлением трав (зелий) хмеля и полыни, поэтому для обозначения пива использовалось слово «зелье» (Pavlovskaya, Ruzhnikov, 2004). Пиво как отдельное наименование и самостоятельный напиток на Руси упоминается впервые с 1284 г. (Pokhlebin, 1983). Повседневным напитком оно становится с XVI в.: им торгуют в кабаках наряду с водкой (Pavlovskaya, Ruzhnikov, 2004). Археологическая летопись сохранила особые сосуды – корчаги, предназначенные для изготовления и хранения этого напитка, а также злаки и хмель (Tataurova, 2013). Производили и так называемое медовое пиво, обогащаемое хмелем (Tseselsky, 1910). По схожей технологии изготавливался и хмельной

мед, его происхождение датируется 920 г. (Pokhlebin, 1983).

На Руси хмель был также незаменимым компонентом закваски для хлеба – основы традиционного русского стола. На основе женских соцветий хмеля создавалась «вечная» закваска, которую в народе называли «дрожжи». В XI–XII вв. повсеместно пекли черный кисловатый ржаной хлеб, а особую ценность имели изделия на закваске из пивной гущи или дрожжей (Kovalev, 1990). Именно этот хлеб в основном входил в крестьянский рацион, в отличие от ситного и белого хлебов из крупчатки, считавшихся «боярскими» (Shipilov, 2007). Черный хлеб долгое время не черствел благодаря антимикробной активности отвара хмеля. Соцветия хмеля визуально напоминают стробилы хвойных растений, поэтому в народе их называют «шишки». Именно они использовались в качестве приправы для вкуса и аромата у восточных славян. Также отвар шишек хмеля добавляли в сыту – основу для сладких лакомств или слабоалкогольных напитков (Tseselsky, 1910).

В народной медицине хмель известен с доисторических времен. Существуют различные сведения о традиционном использовании, некоторые из которых довольно оригинальны. Например, для окрашивания волос, удаления примесей из крови, изготовления ткани и бумаги, упаковки хрупких грузов и отпугивания демонов по ночам, а также лечения проказы, зубной боли, лихорадки, желудочно-кишечных проблем и тревоги, в качестве консерванта, дезодоранта и корма для скота (Annenkov, 1878; Edwardson, 1952; Vereshchagin et al., 1957; Wilson 1975; Korpelainen, Pietiläinen, 2021; etc.).

Хмель издавна использовался в качестве седативного и снотворного средства в напитках. Седативное действие *H. lupulus* известно с первых дней культивирования, поскольку было замечено, что люди, собирающие хмель и работающие с растениями, становились сонливыми в течение рабочего дня (Van Cleemput et al., 2009). Об этом же его свойстве ранее упоминала В. Г. Минаева (Minaeva, 1970), указав, что хмель обыкновенный входил в состав успокаивающих сборов трав жителей Сибири. Были популярны и мягкие подушки, наполненные хмелем (Wilson, 1975). Подушки, наполненные хмелем и лавандой, продаются и сегодня в онлайн-магазинах. Немецкая комиссия по фитотерапии и Европейский научный кооператив по фитотерапии (the German Commission E and European Scientific Cooperative on Phytotherapy) одобрили хмель как средство от беспокойства, тревожности и нарушений сна (Zanoli, Zavatti, 2008).

Как и конопля (*Cannabis sativa* L.), хмель имеет длинные волокна, которые использовались для изготовления веревок, бумаги и ткани. Однако бумага не отличалась высоким качеством, поскольку выход и содержание целлюлозы были относительно низкими (Annenkov, 1878; Vereshchagin et al., 1959; Duke, 1983). Хмель имел красильное значение. Из эластичных стеблей осуществлялось плетение, а декоративные свойства лианы также использовались в садоводстве (Annenkov, 1878; Vereshchagin et al., 1959).

В России широко использовались лекарственные свойства хмеля как антимикробного растения. Так, вкупе с аиром болотным (*Acorus calamus* L.), отваром хмеля обрабатывали ротовую полость. Поскольку у хмеля выражены ароматические свойства, он применялся для ванн, лечения кожных болезней, заживления ран. Из вытяжки (лупулина) изготавливались препараты и мази. Часто «шишки» хмеля употреблялись при болезнях нервной,

сосудистой и мочеполовой систем органов (Annenkov, 1878). В советское время для укрепления корней волос использовался шампунь «Таро» с экстрактом хмеля (Telyatuev, 1985). В настоящее время существует целая линейка хмелевых (на основе экстрактов хмеля) или аирохмелевых шампуней, представленных в торговых сетях и на маркетплейсах. Кроме того, экстракт хмеля применяется как abortивное средство (Minaeva, 1970).

Хмель использовался и как пищевое растение. Молодые побеги употреблялись в пищу как овощ во многих регионах Европы со времен Плиния (Плиний Старший, около 24–79 гг. н. э.) (Edwardson, 1952; Van Cleemput et al., 2009). В. И. Верещагин (Vereshchagin et al., 1959) отмечал, что в России, в частности в Сибири, в пищу использовали корневые отпрыски хмеля, а листья квасили, подобно капусте, и добавляли в щи. В европейской части России молодые побеги употреблялись аналогично спарже или стручковой фасоли (Annenkov, 1878). Сыта на основе хмелевого отвара использовалась в обрядах: так в похоронной культуре с ней употребляли кутью. На Украине и в России бытовал обряд посыпания молодоженов зерном и «шишками» хмеля при выходе из церкви, так как хмель считался символом плодородия и достатка (Dal, 1995; Dyakova, 2015).

Листовая масса хмеля использовалась для кормления домашних животных, «шишки» пользовались спросом в ветеринарии (Telyatuev, 1985). Таким образом, хмелю, как декоративному, так и привозному с других частей ареала, находили разнообразное применение.

Разные страны и народы на протяжении веков делились опытом возделывания хмеля, изготовления различной продукции из него и знаниями о лекарственных особенностях хмеля. Разнообразие применения хмеля определяется его химическим составом и связанными с ним фармакологическими свойствами.

Основные метаболиты хмеля.

Химические и фармакологические свойства

Хмель обыкновенный содержит сотни фитохимических веществ, и некоторые из вторичных метаболитов имеют потенциальную фармакологическую и лекарственную ценность. Наиболее полно химический состав хмеля обыкновенного представлен в монографии «Растительные ресурсы России» (Belenovskaya, Medvedeva, 2008). Основные классы органических веществ хмеля: 1) циклитолы; 2) монотерпеноиды; 3) сесквитерпеноиды (гумулол, кариофиллен, гумулен); 4) стероиды; 5) алициклические соединения (α -горькие кислоты – гумулон, β -горькие – лупулон, прегумулон); 6) фенолы и их производные; 7) стильбены (цис-резвератрол и др.); 8) хальконы (дигидроциклоксантогумулол); 9) флавоноиды (кверцетин); 10) лейкоантоцианы; 11) антоцианы; 12) катехины; 13) процианиды; 14) серосодержащие соединения; 15) алкалоиды и другие азотсодержащие соединения; 16) алифатические соединения; 17) жирные кислоты и их производные; 18) фитостерогены (8-пренилнарингенин); 19) витамины; 20) жирное масло.

Химическим и фармакологическим свойствам метаболитов хмеля посвящен ряд обзоров зарубежных исследователей (Astray et al., 2020; Tronina et al., 2020; Iniguez, Zhu, 2021; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Кроме соплодий («шишек»), различными биологически активными веществами богаты и другие части растения: листья, стебли и корневища (Krottenthaler, 2009; Muzkiewicz et al., 2019). Наиболее известен лупулин – смо-

листое вещество золотисто-желтого цвета, выделяемое специальными железками зрелых соплодий. Оно богато вторичными метаболитами, такими как горькие кислоты (смолы), например гумулон (α -кислота) и лупулон (β -кислота), терпены (мирцен и линалоол, β -кариофиллен, гумулен, α -пинен и др.) (Astray, 2020). Разнообразие фитоконпонентов хмеля определяет широкий спектр действия метаболитов: противовоспалительное, антиоксидантное, противомикробное и фитостерогенное.

Известно, что химический состав и содержание веществ, важных технологически, коррелируют с условиями среды произрастания. В зависимости от метеорологических и эдафических условий «шишки» хмеля накапливают смолы в диапазоне от 8 до 22% (Lobanov, 1956). В зависимости от генотипа некоторые разновидности/сорта хмеля тяготеют к аккумуляции горьких веществ, а иные – ароматических. Урожайность «шишек» хмеля изменчива, она выше у генотипов, накапливающих горькие вещества.

Качество горького хмеля в пивоваренной промышленности оценивается по содержанию α -кислот от 14 до 21% (Hristyuk, Kas'yanov, 2007). Качество ароматических сортов по этому показателю ниже, но их преимущество именно в придании тонкого аромата – одного из факторов востребованности на рынке (Kanukyants, 1990). Смолы, флавоноиды, горькие кислоты и эфирные масла играют важную роль в процессе пивоварения. Эти соединения улучшают сохранность пива и обеспечивают горечь (Alonso-Esteban et al., 2019). Горькие кислоты (смолы) оказывают бактериостатическое влияние на грамположительные и грамотрицательные бактерии, но в то же время благотворно влияют на жизнедеятельность дрожжей в пивной продукции (Milosta et al., 2009).

Товарную ценность хмеля, прежде всего, оценивают по содержанию горьких кислот хмеля, или хмелевых смол. Наиболее важны α -кислоты – слабые одноосновные кислоты (гумулон и его аналоги: адгумулон, когумулон, прегумулон и постгумулон). При кипячении сула α -кислоты переходят в раствор и изомеризуются. Когумулон в растворе изомеризуется легче других компонентов, оптимальное его содержание – 20–25% от α -кислот. Именно α -кислоты придают пивным напиткам горечь. Немаловажны β -горькие кислоты – лупулон и аналоги: адлупулон, колупулон и др. Растворимость в воде лупулонов ниже, при кипячении они частично окисляются, образуя продукты с мягкой горечью. Лупулоны уступают гумулонам по горечи и пенообразующим свойствам, но антисептические свойства лупулонов в разы выше (Milosta, 2010; Santarelli et al., 2023). Антибиотические свойства этих веществ сильнее проявляются при pH 4,3–4,4 и с повышением pH ослабевают (Kolyada, Tolchikova, 2017).

Перспективные направления использования метаболитов и продуктов из хмеля обыкновенного

Разнообразный состав метаболитов хмеля, имеющий широкий спектр действия, привлекает в последние годы исследователей из многих стран. Особенно перспективны исследования по изучению противораковой и фитостерогенной, противовоспалительной, антиоксидантной и противомикробной активности.

Противораковые свойства

В ряде работ показано, что экстракт *H. lupulus* и его компоненты оказывают прямое ингибирующее действие

на канцерогенез, регулируя различные биохимические пути раковых клеток на ключевых стадиях их развития (Zanoli, Zavatti, 2008). Исследования *in vitro* и *in vivo* показали подавляющее действие экстрактов хмеля на рак толстой кишки, кожи и костей, а также премиоцитарный и монобластный лейкоз. Экстракты хмеля могут вмешиваться в биохимические пути этих процессов различными способами. В нескольких исследованиях описывалось влияние α -кислот (гумулона), в то время как β -кислоты (лупулон), будучи менее растворимыми в воде, изучены меньше (Yasukawa et al. 1995; Gerhäuser, 2005; Lamy et al., 2007; Lee et al., 2007; Van Cleemput et al., 2009; Akazawa et al., 2012; Lempereur et al., 2016; Philips et al., 2017; Bolton et al., 2019; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Заместительная гормональная терапия

Растительные эстроген-имитаторы (фитоэстрогены) приобрели популярность в качестве альтернативных методов лечения симптомов, связанных с менопаузой. Потеря эстрогена во время менопаузы имеет множество последствий, среди которых наиболее вредными является увеличение массы и количества висцерального жира за счет модуляции липидного обмена и воспалительных цитокинов (Gerhäuser, 2005; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Экстракт *H. lupulus* содержит предшественники фитоэстрогенов (флавоноиды, особенно ксантогумол и изоксантогумол) (Van et al., 2018), которые могут превращаться в эстрогенные формы (8-прениларингенин) путем активации кишечной флоры или ферментов печеночного цитохрома P450. Эстрогенная активность ксантогумола и изомеризованного изоксантогумола слаба, но их производное – деметилированный 8-прениларингенин – самый мощный фитоэстроген из известных в растительном мире (Almaguer et al., 2014; Carbone, Gervasi, 2022). Экстракт хмеля помогает в лечении некоторых побочных эффектов, вызванных дефицитом эстрогена, таких как приливы, а также бессонница и перепады настроения, связанные с менопаузой. Кроме того, он, по-видимому, усиливает механизмы защиты костей благодаря своей эстроген-имитирующей активности (Erkkola et al., 2010; Bolton et al., 2019).

Антимикробное действие

Антимикробный потенциал *H. lupulus* давно известен в народной медицине, а в последнее время он стал объектом изучения в качестве фитотерапевтической альтернативы синтетическим антибиотикам (Allen et al., 2019). Одной из важнейших установленных характеристик экстрактов хмеля является их способность влиять на функцию микробных плазматических мембран (Srinivasan et al., 2005).

Альфа-кислоты изомеризуются в изо-альфа-кислоты, которые ингибируют рост ряда грамположительных бактерий, таких как *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *S. epidermitis*, *Bacillus anthracis*, *B. subtilis*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Sarcina lutea*, *Streptococcus faecalis* и *Lactobacillus brevis* (Bhattacharya et al., 2002; Čermák et al., 2015).

Бета-кислоты эффективны благодаря своей гидрофобности и способности разрушать клеточные мембраны бактерий, особенно грамотрицательных. Некоторые виды бактерий полости рта подавляются компонентами *H. lupulus*: кариес зубов, вызванный *Streptococcus mutans*, а также *S. sanguinis* и *S. salivarius*, подавляется β -кислотами (лупулоном) более эффективно, чем

обычными ополаскивателями для полости рта (Bhattacharya et al., 2002; Čermák et al., 2015; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Спиртовой экстракт хмеля ингибирует образование биопленки у грамположительных бактерий, связанных с устойчивыми к антибиотикам кожными инфекциями (Di Lodovico et al., 2020).

Халконы (горькие кислоты – лупулон и гумулон) хмеля оказались эффективны при гастрите и язве желудка, вызванных *Helicobacter pylori*, а также при некоторых видах бруцеллеза (возбудитель *Brucella*), благодаря разрушению клеточной мембраны (Oshugi et al., 1997; Čermák et al., 2015; Wendakoon et al., 2018).

Особо отметим, что α -кислоты, ксантогумол и в большей степени β -кислоты эффективны в подавлении роста метициллин-резистентного золотистого стафилококка, который приводит к тяжелым и даже смертельным инфекциям. Его бактериальные биопленки устойчивы ко многим препаратам, однако они не смогли препятствовать действию компонентов *H. lupulus* (Bogdanova et al., 2018; Wendakoon et al., 2018).

Экстракт хмеля также воздействует на грамположительные бактерии *Propionibacterium acnes* и *Staphylococcus aureus*, вызывающие воспалительное заболевание кожи у подростков – акне (Weber et al., 2019). В целом компоненты экстракта проявляют противовоспалительную, противомикробную, омолаживающую активность, восстанавливая кожный барьер, что может быть востребовано в дерматологии (Mottin et al., 2025).

Положительный эффект от кормовых добавок с β -кислотами хмеля был получен в птицеводстве. Эти кислоты, по-видимому, контролируют пролиферацию *Clostridium perfringens* в тонком кишечнике и слепых отстойках бройлеров (Bortoluzzi et al., 2014).

Экстракт цветков и листьев *H. lupulus* может быть использован в качестве заменителя распространенного фунгицида, применяемого при консервации клубники (Daraei Garmakhanu et al., 2021). Установлена противогрибковая активность изоксантогумола (Yan et al., 2021).

В последнее время появились сведения о новых свойствах ксантогумола, предотвращающего тромбоз без увеличения риска кровотечения за счет ингибирования активации тромбоцитов и высвобождения митохондриальной ДНК (Xin et al., 2017). Это далеко не полный перечень выявленных исследователями новых свойств метаболитов хмеля обыкновенного. *In silico* ведутся исследования противовирусной активности пренилксантогумола, ксантогаленола и кверцетина из хмеля в борьбе с SARS-CoV-2 (Bouback et al., 2023).

Метаболический синдром возникает в результате «диеты западного типа» и обычно связан с повышенной инсулинорезистентностью и ожирением. Недавно было показано, что α -кислоты (в частности, изогумулон) из *H. lupulus* влияют на этот синдром, ингибируя патофизиологические этапы метаболического состояния, например снижая окислительный стресс клеток и уменьшая накопление липидов в гепатоцитах. Обнаружено, что изогумулон улучшает толерантность к глюкозе и уменьшает повышенный уровень триглицеридов и инсулинорезистентность, которые являются признаками диабета. При введении изогумулона мышам с ожирением маркеры поражения печени снижались, толерантность к глюкозе улучшалась, а разрастание жировой ткани и последующее ожирение замедлялись (Mahli et al., 2018; Hamm et al., 2019; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Установлено, что пренилированный флавоноид ксантогумол из *H. lupulus* является модулятором метаболизма глюкозы и липидов и обладает выраженным противожирительным эффектом у мышей *in vivo*. Введение ксантогумола снизило уровень глюкозы, триглицеридов, ЛПНП-Х (липопротеинов низкой плотности), инсулина и лептина в плазме у мышей с ожирением (Miranda et al. 2016; Bolton et al., 2019; Hamm et al., 2019; Korpelainen, Pi- etiläinen, 2021).

Инсектицидное действие

Эфирные масла растительного происхождения в последнее время приобрели популярность как экологичная альтернатива химическим пестицидам. Хмелевое масло обладает потенциалом для борьбы с некоторыми насекомыми-вредителями, хотя функциональная роль эфирных масел и их различных ароматов у хмеля еще не изучена до конца. Вероятно, эфирные масла действуют как репеллент против различных травоядных животных и патогенов (Gerhäuser, 2005; Wang, Dixon, 2009; Bedini et al., 2015; Naraine, Small, 2017; Aydin et al., 2017, 2019; Brendel et al., 2019; Tkachenko, Varfolomeeva, 2022, 2023; Tkachenko et al., 2023). Хмелевое масло действует против личинок вредителя складов пятнистой дрозодилы – *Drosophila suzukii* (Matsumura), малого хмельного точильщика – *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) и амбарного долгоносика – *Sitophilus granarius* (Linnaeus) (Bedini et al., 2015). Кроме того, масло активно против инвазивного пресноводного моллюска – *Physella acuta* (Draparnaud), а также комара – *Aedes albopictus* (Skuse) (Bedini et al., 2016).

Ароматические особенности хмеля

Наиболее важные пахучие соединения *H. lupulus* относятся к различным химическим классам: сложные эфиры, терпены, кетоны, альдегиды и фураны. Наиболее важным летучим веществом в хмелевом масле является β-мирцен (монотерпен), составляющий до 50% (в зависимости от сорта) фракции эфирного масла, а также 2-ундерканон (кетон). Большинство эфиров описываются как фруктовые, цветочные или «зеленые», а кетоны (преимущественно 2-ундерканон) обычно имеют цитрусовый или фруктовый аромат (Van Opstaele et al., 2012). Эфирные масла *H. lupulus* изучались для использования в пивоваренной промышленности, поскольку различные вкусы и ароматы пива представляют интерес как для производителей, так и для потребителей. Многие сорта хмеля имеют свой собственный характерный букет ароматов. Некоторые из запахов описываются как фруктовые, цитрусовые, травяные, цветочные, карамельные, кокосоподобные, медовые и ванильные, в то время как другие воспринимаются как затхлые, землистые, древесные или кедровые (Eures et al., 2007). Традиционно эфирные масла *H. lupulus* продолжают добавлять в духи и дезодоранты, в основном для ароматизации, но они также полезны благодаря своим консервирующим свойствам (Duke, 1983; Bedini et al., 2016; Korpelainen, Pietiläinen, 2021).

Функциональные продукты питания

Использование старых традиций хмеля в хлебопечении возрождено в Республике Беларусь. Хлеб, полученный с введением в рецептуру хмелевой добавки, обладает лучшими органолептическими и физико-химическими показателями (Kolyada, Tolchikova, 2017). Рынок продуктов питания, диетических добавок и других пре-

паратов с полезными для здоровья свойствами заинтересован в использовании различных свойств метаболитов хмеля.

Заключение

История использования хмеля обыкновенного в практической деятельности человека насчитывает не одно тысячелетие. *H. lupulus* известен в народной медицине с доисторических времен. Разные этносы не только вносили свои особенности в технологический процесс производства пива и хлеба, но и расширяли области использования хмеля. Интерес к широкому спектру действия разнообразных вторичных метаболитов поддерживается современным научно-исследовательским уровнем работ. Оказалось, что кроме расширения возможностей традиционного использования хмеля в пивоварении, выделенные метаболиты открывают новые направления применения в медицине, косметологии, производстве БАД, функциональных продуктов питания и натуральных гигиенических косметических средств. Перспективно использование метаболитов хмеля для лечения рака, метаболического синдрома, различного рода воспалений, как потенциальной альтернативы антибиотикам, в качестве гормонозаместительной терапии, а также как источника инсектицидов.

Метаболиты хмеля перспективны для добавления в духи и дезодоранты для придания им аромата и консервации состава. Будущие усилия по селекции хмеля с различными целями по качеству и адаптации должны быть направлены на изучение существующих генетических ресурсов, таких как дикие популяции и местные культивары, представленные во многих регионах России. В то же время спектр биологически активных веществ хмеля велик и требует дальнейшего изучения. Необходимо включать в исследования дикорастущие популяции хмеля, в том числе на юге Западной Сибири, обладающей огромными запасами растительного сырья в природе и оптимальными климатическими показателями для создания промышленных плантаций.

References / Литература

- Afanaseva O.G., Ivanov E.A., Makushev A.E. Study of global hops trade and determination of Russia's role in the product turnover. Special issue "Economy". *Agrarian Bulletin of the Urals. Special Issue "Economy"*. 2022;(228):2-17. [in Russian] (Афанасьева О.Г., Иванов Е.А., Макушев А.Е. Исследование мировой торговли хмелем и определение места России в товарообороте продукции. *Аграрный вестник Урала. Спецвыпуск «Экономика»*. 2022;(228):2-17. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-2-17
- Afanaseva O.G., Ivanov E.A., Makushev A.E., Danilova N.L. Study of prospects for the development of the aroma and alpha hop world market. *Economics of Agriculture of Russia*. 2023;(8):129-135. [in Russian] (Афанасьева О.Г., Иванов Е.А., Макушев А.Е., Данилова Н.Л. Исследование перспектив развития мирового рынка ароматических и горьких сортов хмеля. *Экономика сельского хозяйства России*. 2023;(8):129-135. DOI: 10.32651/238-129
- Akazawa H., Kohno H., Tokuda N., Suzuki K., Yasukawa Y., Kimura A. et al. Anti-inflammatory and anti-tumor-promoting effects of 5-deprenyllupulone C and other compounds from Hop (*Humulus lupulus* L.). *Chemistry and Biodiversity*. 2012;9(6):1045-1054. DOI: 10.1002/cbdv.201100233

- ALANICA. Collection of selected articles by A. A. Tuallagov, Doctor of Historical Sciences. Dedicated to his 50th birthday (Sbornik izbrannykh statey doktora istoricheskikh nauk A. A. Tuallagova. K 50-letiyu so dnya rozhdeniya). Vladikavkaz: V.I. Abaev North-Ossetian Institute of Humanitarian and Social Studies; 2017. [in Russian] (ALANICA. Сборник избранных статей доктора исторических наук А. А. Туаллагова. К 50-летию со дня рождения. Владикавказ: Северо-Осетинский институт гуманитарных и социальных исследований им. В.И. Абаева; 2017). URL: <https://soigsi.com/books/books2017/tuallagov2017.pdf> [дата обращения: 16.08.2025].
- Allen M.E., Piefer A.J., Cole S.N., Werner J.J., Benziger P.T., Grieneisen L. et al. Characterization of microbial communities populating the inflorescences of *Humulus lupulus* L. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2019;77(4):243-250. DOI: 10.1080/03610470.2019.1667739
- Almaguer C., Schönberger C., Gastl M., Arendt E.K., Becker T. *Humulus lupulus* – a story that begs to be told. A review. *Journal of the Institute of Brewing*. 2014;120(4):289-314. DOI: 10.1002/jib.160
- Alonso-Esteban J.I., Pinela J., Barros L., Ćirić A., Soković M., Calhella R.C. et al. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*. 2019;134:154-159. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.04.001
- Annenkov N. (comp.). Botanical dictionary: a reference book for botanists, farmers, gardeners, foresters, pharmacists, doctors, potion-makers, and travelers in Russia, and rural residents in general (Botanicheskiy slovar: spravocnaya kniga dlya botanikov, selskikh khozyaev, sadovodov, lesovodov, farmatsevtov, vrachey, drogistov, puteshestvennikov po Rossii i voobshche selskikh zhiteley). St. Petersburg: Imperial Academy of Sciences; 1878. [in Russian] (Ботанический словарь: справочная книга для ботаников, сельских хозяев, садоводов, лесоводов, фармацевтов, врачей, дрогистов, путешественников по России и вообще сельских жителей / сост. Н. Анненков. Санкт-Петербург: Императорская Академия наук; 1878).
- Astray G., Gullón P., Gullón B., Muneke P.E.S., Lorenzo J.M. *Humulus lupulus* L. as a natural source of functional biomolecules. *Applied Sciences*. 2020;10(15):5074. DOI: 10.3390/app10155074
- Aydin T., Bayrak N., Baran E., Cakir A. Insecticidal effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) L. cones and its principal component, xanthohumol. *Bulletin of Entomological Research*. 2017;107(4):543-549. DOI: 10.1017/S0007485317000256
- Aydin T., Senturk M., Kazaz C., Cakir A. Inhibitory effects and kinetic-docking studies of xanthohumol from *Humulus lupulus* cones against carbonic anhydrase, acetylcholinesterase, and butyrylcholinesterase. *Natural Product Communications*. 2019;14(10):1-6. DOI: 10.1177/1934578X19881503
- Ban Z., Qin H., Mitchell A.J., Liu B., Zhang F., Weng J.K., et al. Noncatalytic chalcone isomerase-fold proteins in *Humulus lupulus* are auxiliary components in prenylated flavonoid biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018;115(33):E5223-E5232. DOI: 10.1073/pnas.1802231115
- Bedini S., Flamini G., Cosci F., Ascrizzi R., Benelli G., Conti B. *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* essential oils as novel control tools against the invasive mosquito *Aedes albopictus* and freshwater snail *Physella acuta*. *Industrial Crops and Products*. 2016;85:318-323. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.008
- Bedini S., Flamini G., Girardi J., Cosci F., Conti B. Not just for beer: Evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. *Journal of Pest Science*. 2015;88(3):583-592. DOI: 10.1007/s10340-015-0647-1
- Belenovskaya L.M., Medvedeva L.I. Cannabaceae Endl. – The hemp family (Konoplevye). Genus *Humulus* L. – Hop (Khmel). *H. lupulus* L. – Common hop (Khmel obyknovenny) In: A.L. Budantsev (ed.). *Plant Resources of Russia: Wild Flowering Plants, Their Component Composition and Biological Activity (Dikorastushchiye tsvetkovye rasteniya, ikh komponentny sostav i biologicheskaya aktivnost)*. Vol. 1. Families Magnoliaceae, Juglandaceae, Ulmaceae, Moraceae, Cannabaceae, and Urticaceae. St. Petersburg; Moscow: KMK; 2008. [in Russian] (Беленовская Л.М., Медведова Л.И. Семейство Cannabaceae Endl. – Конопльевые. Род *Humulus* L. – Хмель. *H. lupulus* L. – Х. обыкновенный. В кн.: *Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 1. Семейства Magnoliaceae, Juglandaceae, Ulmaceae, Moraceae, Cannabaceae, Urticaceae* / под ред. А.Л. Буданцева. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2008).
- Bhattacharya S., Virani S., Zavro M., Haas G.J. Inhibition of *Streptococcus mutans* and other oral streptococci by hop (*Humulus lupulus* L.) constituents. *Economic Botany*. 2002;57:118-125. DOI: 10.1663/0013-0001(2003)057[0118:IOSMAO]2.0.CO;2
- Bogdanova K., Röderova M., Kolar M., Langova K., Dusek M., Jost P. et al. Antibiofilm activity of bioactive hop compounds humulone, lupulone and xanthohumol toward susceptible and resistant staphylococci. *Research in Microbiology*. 2018;169(3):127-134. DOI: 10.1016/j.resmic.2017.12.005
- Bolton J.L., Dunlap T.L., Hajirahkikh Khan A., Mbachu O., Chen S.N., Chadwick L. et al. The multiple biological targets of hops and bioactive compounds. *Chemical Research in Toxicology*. 2019;32(2):222-233. DOI: 10.1021/ACS.CHEMRESTOX.8B00345
- Bortoluzzi C., Menten J.F., Romano G.G., Pereira R., Napy G.S. Effect of hops β -acids (*Humulus lupulus*) on performance and intestinal health of broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2014;23(3):437-443. DOI: 10.3382/japr.2013-00926
- Bouback T.A., Aljohani A.M., Albeshri A., Al-Talhi H., Moatasim Y., GabAllah M. et al. Antiviral activity of *Humulus lupulus* (HOP) aqueous extract against MERS-CoV and SARS-CoV-2: in-vitro and in-silico study. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2023;37(1):167-179. DOI: 10.1080/13102818.2022.2158133
- Brendel S., Hofmann T., Granvogl M. Characterization of key aroma compounds in pellets of different hop varieties (*Humulus lupulus* L.) by means of the sensomics approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(43):12044-12053. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b05174
- British Hop Association: [website]. Available from: <https://www.britishhops.org.uk/contact> [accessed Aug. 21, 2025].
- Carbone K., Gervasi F. An updated review of the genus *Humulus*: a valuable source of bioactive compounds for health and disease prevention. *Plants*. 2022;11(24):3434. DOI: 10.3390/plants11243434
- Carter P.R., Oelke E.A., Kaminski A.R., Hanson C.V., Combs S.M., Doll J.D. et al. Hop. In: *Alternative Field Crops Manual*. Madison, WI: University of Wisconsin; 1990. [online]. Available from: <https://corn.aae.wisc.edu/Crops/Hop.aspx> [accessed Aug. 06, 2025].

- Čermák P., Palečková V., Houška M., Strohalm J., Novotná P., Mikyška A. et al. Inhibitory effects of fresh hops on *Helicobacter pylori* strains. *Czech Journal of Food Sciences*. 2015;33(4):302-307. DOI: 10.17221/261/2014-CJFS
- Cornell M. Hist-brewing: hops – was 'Ageing mead'? *Shadow Island Games* [website]; 2001. Available from: <http://www.pbm.com/pipermail/hist-brewing/2001/003188.html> [accessed Aug. 21, 2025].
- Dal V.I. Explanatory dictionary of the living Great Russian language. Vol. 4. Moscow: Terra; 1995. [in Russian] (Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. Т. 4. Москва: Терра; 1995).
- Daraei Garmakhany A., Mirzaei H., Shalarami Kh. Investigation of the effect of flower and leaf ethanolic extract of *Humulus lupulus* plant on the shelf life and quality attributes of strawberry fruits. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 2021;17(109):75-90. [in Persian] DOI: 10.29252/fstc.17.12.08
- De Candolle A. Géographie botanique raisonnée; ou, Exposition des faits principales et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle. Paris: V. Masson; 1855. [in French] DOI: 10.5962/bhl.title.62718
- DeNoma J.S. Hop genetic resources. Corvallis, OR: USDA ARS National Clonal Germplasm Repository [website]; 2000. Available from: <http://www.arsgrin.gov/ars/PacWest/Corvallis/ncgr/humulus/huminfo.html> [accessed Aug. 08, 2025].
- Di Lodovico S., Menghini L., Ferrante C., Recchia E., Castro-Amorim J., Gameiro P. et al. Hop extract: an efficacious antimicrobial and anti-biofilm agent against multidrug-resistant staphylococci strains and *Cutibacterium acnes*. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:1852. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01852
- Duke J.A. *Humulus lupulus* L. In: J.A. Duke. *Handbook of Energy Crops*. West Lafayette, IN: Purdue University; 1983. [online]. Available from: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Humulus_lupulus.html [accessed Aug. 11, 2025].
- Dyakova T.A. Phraseological representation of some wedding rites (based on the Ukrainian dialects of Vostochnaya Slobzhanshina). *Review of Omsk State Pedagogical University. Humanitarian Research*. 2015;3(7):41-44. [in Russian] (Дьякова Т.А. Фразеологическая репрезентация некоторых свадебных обрядов (на материале украинских восточнослобожанских говоров). *Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования*. 2015;3(7):41-44).
- Edwardson J.R. Hops – Their botany, history, production and utilization. *Economic Botany*. 1952;6:160-175. DOI: 10.1007/BF02984875
- Erkkola R., Vervarcke S., Vansteelandt S., Rompotti P., De Keuleleire D., Heyerick A. A randomized, double-blind, placebo-controlled, cross-over pilot study on the use of a standardized hop extract to alleviate menopausal discomforts. *Phytomedicine*. 2010;17(6):389-396. DOI: 10.1016/j.phymed.2010.01.007
- Eyres G.T., Marriott P.J., Dufour J.P. Comparison of odor-active compounds in the spicy fraction of hop (*Humulus lupulus* L.) essential oil from four different varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(15):6252-6261. DOI: 10.1021/jf070739t
- Gerhäuser C. Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European Journal of Cancer*. 2005;41(13):1941-1954. DOI: 10.1016/j.ejca.2005.04.012
- Hamm A.K., Manter D.K., Kirkwood J.S., Wolfe L.M., Cox-York K., Weir T.L. The effect of hops (*Humulus lupulus* L.) extract supplementation on weight gain, adiposity and intestinal function in ovariectomized mice. *Nutrients*. 2019;11(12):3004. DOI: 10.3390/nu11123004
- Hilton J.F. Hops – Into the Millennium. *Hopsteiner* [website]; 2001. Available from: <http://hopsteiner.com/history5.html> [accessed Aug. 12, 2025].
- Hornsey I.S. A history of beer and brewing. Cambridge: The Royal Society of Chemistry; 2003.
- Howard G.A. The constituents and brewing behaviour of hops. In: A.H. Burgess, N. Polunin (eds). *Hops: Botany, Cultivation, and Utilization*. London: Leonard Hill; 1964. p.36-52.
- Hristyuk A.V., Kas'yanov G.I. Hop in brewing. *Beer and Beverages*. 2007;(1):10-12. [in Russian] (Христюк А.В., Касьянов Г.И. Хмель в пивоварении. *Пиво и напитки*. 2007;(1):10-12).
- Iniguez A.B., Zhu M.J. Hop bioactive compounds in prevention of nutrition related noncommunicable diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(11):1900-1913. DOI: 10.1080/10408398.2020.1767537
- International Plant Names Index (IPNI): [website]. Available from: <http://www.ipni.org> [accessed Aug. 21, 2025].
- Kanukyants K.A. Chemistry of malt and beer (Khimiya soloda i piva). Moscow: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Канукианц К.А. Химия солода и пива. Москва: Агропромиздат; 1990).
- Kolyada E.V., Tolchikova A.I. Concerning the issue of the chemical composition of hops (K voprosu o khimicheskom sostave khmelya). *Current Problems of the Humanities and Natural Sciences*. 2017;(4-3):49-51. [in Russian] (Коляда Е.В., Толчикова А.И. К вопросу о химическом составе хмеля. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2017;(4-3):49-51).
- Korpelainen H., Pietiläinen M. Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. *Economic Botany*. 2021;75(4):302-322. DOI: 10.1007/s12231-021-09528-1
- Kovalev N.I. Russian cooking (Russkaya kulinariya). Leningrad: IMA-Press; 1990. [in Russian] (Ковалев Н.И. Русская кулинария. Ленинград: ИМА-Пресс; 1990).
- Krottenthaler M. Hops. In: H.M. Eßlinger (ed.). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2009. p.85-104. DOI: 10.1002/9783527623488.ch3
- Lamy V., Roussi S., Chaabi M., Gossé F., Schall N., Lobstein A. et al. Chemopreventive effects of lupulone, a hop β -acid, on human colon cancer-derived metastatic SW620 cells and in a rat model of colon carcinogenesis. *Carcinogenesis*. 2007;28(7):1575-1581. DOI: 10.1093/carcin/bgm080
- Latypova G.M., Ayupova G.V., Bubenchikova V.N., Galimova D.F., Batoryova E.D., Shafikova S.F. Study for identification of bitter acids in *Humulus lupulus*. *Challenges in Modern Medicine*. 2012;10-2(129):65-69. [in Russian] (Латыпова Г.М., Аюпова Г.В., Бубенчикова В.Н., Галимова Д.Ф., Баторова Е.Д., Шафикова С.Ф. Исследования по содержанию горьких кислот сырья хмеля обыкновенного. *Актуальные проблемы медицины*. 2012;10-2(129):65-69).
- Lee J.C., Kundu J.K., Hwang D.M., Na H.K., Surh Y.J. Humulone inhibits phorbol ester-induced COX-2 expression in mouse skin by blocking activation of NF- κ B and AP-1: I κ B kinase and c-Jun-N-terminal kinase as respective potential upstream targets. *Carcinogenesis*. 2007;28(7):1491-1498. DOI: 10.1093/carcin/bgm054
- Lempereur M., Majewska C., Brunquers A., Wongpramud S., Valet B., Janssens P. et al. Tetrahydro-iso-alpha acids

- antagonize estrogen receptor alpha activity in MCF-7 breast cancer cells. *International Journal of Endocrinology*. 2016;2016:9747863. DOI: 10.1155/2016/9747863
- Lobanov P.P. (ed.). *Agricultural encyclopedia (Selskokhozyaystvennaya entsiklopediya)*. Vol. 5. Т – Я. Moscow: Selkhozgiz; 1956. [in Russian] (Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 5. Т – Я / под ред. П.П. Лобанова. Москва: Сельхозгиз; 1956).
- Mahli A., Koch A., Fresse K., Schiergens T., Thasler W.E., Schönberger C. et al. Iso-alpha acids from hops (*Humulus lupulus*) inhibit hepatic steatosis, inflammation, and fibrosis. *Laboratory Investigations*. 2018;98(12):1614-1626. DOI: 10.1038/s41374-018-0112-x
- Milosta G.M., Lapa V.V. *Agrobiological principles of hop cultivation in the Republic of Belarus: a monograph (Agrobiologicheskiye osnovy vyrashchivaniya khmelya v Respublike Belarus: monografiya)*. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2010. [in Russian] (Милоста Г.М., Лапа В.В. Агробиологические основы выращивания хмеля в Республике Беларусь: монография. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет; 2010).
- Milosta G.M., Zhebrak I.S., Pirahouskaya N.V. Dependence of hops cones anti-microbe activity on the fertilizer system. *Soil Science and Agrochemistry*. 2009;1(42):227-234. [in Russian] (Милоста Г.М., Жебрак И.С., Пироговская Г.В. Антимикробная активность водных настоев шишек хмеля в зависимости от системы удобрения. *Почвоведение и агрохимия*. 2009;1(42):227-234).
- Minaeva V.G. *Medicinal plants of Siberia (Lekarstvennyye rasteniya Sibiri)*. Novosibirsk: Nauka; 1970. [in Russian] (Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск: Наука; 1970).
- Miranda C.L., Elias V.D., Hay J.J., Choi J., Reed R.L., Stevens J.F. Xanthohumol improves dysfunctional glucose and lipid metabolism in diet-induced obese C57BL/6J mice. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2016;599:22-30. DOI: 10.1016/j.abb.2016.03.008
- Mottin V.H., Nemitz M.C., Medeiros-Neves B., Rossi R.C., Zuanazzi J.A., von Poser G.L. et al. Dermatological uses of *Humulus lupulus* – A review of scientific and technological progress. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2025;35(5):849-860. DOI: 10.1007/s43450-025-00673-5
- Muzykiewicz A., Nowak A., Zielonka-Brzezicka J., Florowska K., Duchnik W., Klimowicz A. Comparison of antioxidant activity of extracts of hop leaves harvested in different years. *Herba Polonica*. 2019;65(3):1-9. DOI: 10.2478/hepo-2019-0013
- Naraine S.G.U., Small E. Germplasm sources of protective glandular leaf trichomes of hop (*Humulus lupulus*). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(3):1491-1497. DOI: 10.1007/s10722-017-0540-2
- Neve R.A. Hops. In: N.W. Simmonds (ed.). *Evolution of Crop Plants*. London; New York, NY: Longman Inc.; 1976. p.339.
- Oshugi M., Basnet P., Kadota S., Ishii E., Tamura T., Okumura Y. et al. Antibacterial activity of traditional medicines and an active constituent lupulone from *Humulus lupulus* against *Helicobacter pylori*. *Journal of Traditional Medicines*. 1997;14:186-191.
- Pavlovskaya G.P., Ruzhnikov Yu.N. Beer alcoholism: its debut and outcome (Pivnoy alkogolizm: debyut i iskhod). *Izvestia Ural Federal University. Series 1: Issues in Education, Science and Culture*. 2004;(32):157-160. [in Russian] (Павловская Г.П., Ружников Ю.Н. Пивной алкоголизм: дебют и исход. *Известия Уральского федерального университета. Серия 1: проблемы образования, науки и культуры*. 2004;(32):157-160).
- Perry L.P. Growing hops in New England – COH 27. *University of Vermont Extension System. Department of Plant and Soil Science* [website]; 1994. Available from: <http://www.uvm.edu/~pass/perry/hopsne.html> [accessed Aug. 16, 2025].
- Philips N., Samuel P., Lozano T., Gvaladze A., Guzman B., Siomyk H. et al. Effects of *Humulus lupulus* extract or its components on viability, lipid peroxidation, and expression of vascular endothelial growth factor in melanoma cells and fibroblasts. *Madridge Journal of Clinical Research*. 2017;1(1):15-19. DOI: 10.18689/mjcr-1000103
- Pokhlebkina V.V. *Entertaining cooking (Zanimatelnaya kulinariya)*. Moscow: Light and Food Industry; 1983. [in Russian] (Похлебкин В.В. Занимательная кулинария. Москва: Легкая и пищевая промышленность; 1983).
- Quer P.F. *Plantas medicinales. El dioscórides renovado*. Barcelona: Editorial Labor; 1995. [in Spanish]
- Santarelli V., Neri L., Carbone K., Macchioni V., Faieta M., Pittia P. Conventional and innovative extraction technologies to produce food-grade hop extracts: Influence on bitter acids content and volatile organic compounds profile. *Journal Food Science*. 2023;88(4):1308-1324. DOI: 10.1111/1750-3841.16487
- Shipilov A.V. *Russian everyday culture: food, clothing, housing (from ancient times to the 18th century): a monograph (Russkaya bytovaya kultura: pishcha, odezhda, zhilishche [s drevneyshikh vremen do XVIII veka]: monografiya)*. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University; 2007. [in Russian] (Шпилов А.В. Русская бытовая культура: пища, одежда, жилище (с древнейших времен до XVIII века): монография. Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет; 2007).
- Silantyeva M.M., Mironenko O.N., Ovcharova N.V., Chukhina I.G., Poltaratskaya Yu.R., Nebylitsa A.V. et al. Phytocenotic arrangement of the common hop in the south of Western Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):20-31. [in Russian] (Силантьева М.М., Мироненко О.Н., Овчарова Н.В., Чухина И.Г., Полтарацкая Ю.Р., Небылица А.В. и др. Фитоценотическая приуроченность хмеля обыкновенного на юге Западной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):20-31). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-20-31
- Srinivasan V., Goldberg D., Haas G.J. Contributions to the antimicrobial spectrum of hop constituents. *Economic Botany*. 2005;58(sp1):230-238. DOI: 10.1663/0013-0001(2004)58[S230:CTTASO]2.0.CO;2
- Standard operating procedure to preserve and maintain the genetic collection of common hop (*Humulus lupulus* L.) in the field to identify genetic sources of valuable agronomic traits (Standartnaya operatsionnaya protsedura po sokhraneniyu i podderzhaniyu geneticheskoy kolleksii khmelya obyknovennogo (*Humulus lupulus* L.) v polevykh usloviyakh po vydeleniyu geneticheskikh istochnikov khozyaystvenno tsennykh priznakov). Opytny Settlement: Chuvash Research Institute of Agriculture; 2019. [in Russian] (Стандартная операционная процедура по сохранению и поддержанию генетической коллекции хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.) в полевых условиях по выделению генетических источников хозяйственно ценных признаков. Поселок Опытный: Чувашский НИИ сельского хозяйства; 2019). URL: <http://ниисх.рф/images/СОП.pdf> [дата обращения: 15.08.2025].
- State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage (National List): official publication.

- Moscow; Rosinformagrotekh; 2024. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2024).
- Tataurova L.V. The life support system of a Siberian village in the 17th–18th centuries based on archaeological materials: adaptation and development (Sistema zhizneobespecheniya Sibirskoy derevni XVII–XVIII vv. po arheologicheskim materialam: adaptatsiya i razvitiye). In: *Integrating Archaeological and Ethnographic Research: Conference Proceedings. Vol. 1*. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2013. p.254-258. [in Russian] (Татаурова Л.В. Система жизнеобеспечения Сибирской деревни XVII–XVIII вв. по археологическим материалам: адаптация и развитие. В кн.: *Интеграция археологических и этнографических исследований: сборник научных трудов. Т. 1*. Иркутск: Иркутский ГТУ; 2013. С.254-258). URL: https://heritage-institute.ru/wp-content/uploads/2017/05/IntegraciyaZarheologicheskikh_i_ethnograficheskikh_issledovaniy_Tom_1.pdf [дата обращения: 16.08.2025].
- Telyatyev V.V. Useful plants of Central Siberia (Poleznye rasteniya Tsentralnoy Sibiri). Irkutsk: East Siberian Book Publishers; 1985. [in Russian] (Телятьев В.В. Полезные растения Центральной Сибири. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство; 1985).
- Tembrock L.R., McAleer J.M., Gilligan T.M. A revision of native North American *Humulus* (Cannabaceae). *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 2016;10(1):11-30.
- Tkachenko K., Varfolomeeva E. Essential oils of the different species of the Lamiaceae family as a means of combating phytophagous and plant diseases. In: A. Beskopylny, M. Shantsyan, V. Artiukh (eds). *Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 575. XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"*. Cham: Springer; 2023. p.1831-1838. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-21219-2_203 [accessed Aug. 12, 2025].
- Tkachenko K., Varfolomeeva E. Prospects for the use of essential oils as repellants and/or insecticides. *Tropical Journal of Natural Product Research*. 2022;6(6):831-835. DOI:10.26538/tjnpr/v6i6.1
- Tkachenko K.G., Varfolomeeva E.A., Hikal W.M., Mahmoud A.A., Smaoui S., Kačániová M. et al. Experience with combinations of fatty oil and essential oil mixtures against *Trialeurodes vaporariorum* Westw. in the Peter the Great Botanical Garden. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*. 2023;3(6):527-535.
- Tronina T., Popłoński J., Bartmańska A. Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer. *Molecules*. 2020;25(18):4201. DOI: 10.3390/molecules25184201
- Tseselsky T. Mead-making, or the art of producing drinks from honey and fruits (Medovarenije, ili iskusstvo proizvodstva napitkov iz myoda i fruktov). Yekaterinoslav: Y.A. Krasnopoler's Printing House; 1910. [in Russian] (Цесельский Т. Медоварение, или искусство производства напитков из меда и фруктов. Екатеринбург: Типография Я.А. Краснополера; 1910).
- Van Cleemput M., Cattoor K., De Bosscher K., Haegeman G., De Keukeleire D., Heyerick A. Hop (*Humulus lupulus*)-derived bitter acids as multipotent bioactive compounds. Review. *Journal of Natural Products*. 2009;72(6):1220-1230. DOI: 10.1021/np800740m
- Van Opstaele F., De Causmaecker B., Aerts G., De Cooman L. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(50):12270-12281. DOI: 10.1021/jf304421d
- Vereshchagin V.I., Sobolevskaya K.A., Yakubova A.I. Useful plants of Western Siberia (Poleznye rasteniya Zapadnoy Sibiri). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1959. [in Russian] (Верещагин В.И., Соболевская К.А., Якубова А.И. Полезные растения Западной Сибири. Москва; Ленинград: АН СССР; 1959).
- Wang G., Dixon R.A. Heterodimeric geranyl(diphosphate synthase from hop (*Humulus lupulus*) and the evolution of monoterpene biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009;106(24):9914-9919. DOI: 10.1073/pnas.0904069106
- Weber N., Biehler K., Schwabe K., Haarhaus B., Quirin K.W., Frank U. et al. Hop extract acts as an anti-oxidant with antimicrobial effects against *Propionibacterium acnes* and *Staphylococcus aureus*. *Molecules*. 2019;24(2):223. DOI: 10.3390/molecules24020223
- Wendakoon C., Gagnon D., Koenig M., Dwarakanath S. Hops (*Humulus lupulus*) strobile extract and its major components show strong antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Medicinally Active Plants*. 2018;7(1-4):12-18. DOI: 10.7275/1af3-eg20
- WFO Plant List. Snapshots of the taxonomy. Genus *Lupulus* L.: [website]. Available from: <https://about.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000018428-2024-12> [accessed Mar. 16, 2025].
- Wilson D.G. Plant remains from the Graveney boat and the early history of *Humulus lupulus* L. in W. Europe. *New Phytologist*. 1975;75(3):627-648. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1975.tb01429.x
- Xin G., Wei Z., Ji C., Zheng H., Gu J., Ma L. Et al. Xanthohumol isolated from *Humulus lupulus* prevents thrombosis without increased bleeding risk by inhibiting platelet activation and mtDNA release. *Free Radical Biology and Medicine*. 2017;108:247-257. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.02.018
- Yan Y.F., Wu T.L., Du S.S., Wu Z.R., Hu Y.M., Zhang Z.J. et al. The antifungal mechanism of isoxanthohumol from *Humulus lupulus* L. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(19):10853. DOI: 10.3390/ijms221910853
- Yasukawa K., Takeuchi M., Takido M. Humulon, a bitter in the hop, inhibits tumor promotion by 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in two-stage carcinogenesis in mouse skin. *Oncology*. 1995;52(2):156-158. DOI: 10.1159/000227448
- Zanoli P., Zavatti M. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008;116(3):383-396. DOI: 10.1016/j.jep.2008.01.011

Информация об авторах

Марина Михайловна Силантьева, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, msilan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-2675>

Ольга Николаевна Мироненко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, olgmironenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0091-5043>

Юлия Романовна Полтарацкая, лаборант-исследователь, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, lynxclaw@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6944-3875>

Information about the authors

Marina M. Silantjeva, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, msilan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-2675>

Olga N. Mironenko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, olgmironenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0091-5043>

Yulia R. Poltaratskaya, Laboratory Research Assistant, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, lynxclaw@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6944-3875>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.10.2025; одобрена после рецензирования 22.10.2025; принята к публикации 14.11.2025.
The article was submitted on 03.10.2025; approved after reviewing on 22.10.2025; accepted for publication on 14.11.2025.