

УДК 615.1

<https://www.doi.org/10.34907/IPQAI.2026.52.45.010>

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМ В ВЫРАЩИВАНИИ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

И.В. Маркин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела медико-биологических исследований, Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА» Минобороны России, г. Анапа; ORCID: 0009-0006-2874-4177, РИНЦ SPIN-код: 6021-7645

era_otd6@mail.ru

М.А. Джавахян, доктор фармацевтических наук, заместитель директора по разработке и внедрению, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Минздрава России, г. Москва; ORCID: 0000-0003-2673-6203, Scopus Author ID: 13003203900, РИНЦ SPIN-код: 3912-4027

akorovamarina13@mail.ru

О.Н. Быхалова, заместитель директора по науке, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный заповедник «Утриш», г. Анапа

9184739988@mail.ru

Н.В. Варламова, доктор технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела медико-биологических исследований, Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА» Минобороны России, Краснодарский край, г. Анапа; ORCID: 0000-0002-6100-2427, РИНЦ SPIN-код: 9139-6019,

era_otd6@mail.ru

М.О. Макаров, оператор научной роты, Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА» Минобороны России, Краснодарский край, г. Анапа

era_otd6@mail.ru

В обзоре представлен комплексный анализ применения современных гидропонных технологий при культивировании лекарственного растительного сырья с целью оценки их потенциала по стандартизации производства, повышению продуктивности и контролю накопления биологически активных веществ (БАВ). Рассмотрены основные типы гидропонных систем (DWC, NFT, аэропоника, капельная и др.), их преимущества и ограничения. Особое внимание уделено влиянию контролируемых факторов – предпосевной обработки семян, спектрального состава освещения, состава питательного раствора и типа субстрата – на всхожесть, биомассу и накопление БАВ. Приведены конкретные примеры: обработка семян *Ariaseae* линарозидом повышает всхожесть и содержание антиоксидантов. Установлено, что белый свет ускоряет цветение *Hypericum perforatum*, а добавление дальнего красного спектра стимулирует рост *Mentha piperita* и *Melissa officinalis*. Микроклональное

размножение с последующим гидропонным выращиванием *Potentilla alba* обеспечивает урожайность до 10,05 кг/м² в год. Аэропоника дает сопоставимые или более высокие урожаи по сравнению с почвой для *Cichorium intybus*, *Withania somnifera* и *Echinacea spp.* В то же время у некоторых видов (например, тархуна) отмечено снижение выхода эфирного масла, тогда как содержание первичных пигментов (хлорофиллов, каротиноидов) в гидропонных образцах орегано и зверобоя превышало аптечные аналоги в 2,7–11 раз. Обзор подтверждает, что гидропоника позволяет точно регулировать условия выращивания и получать воспроизводимое сырье с заданным профилем БАВ, однако требует индивидуальной оптимизации параметров из-за видоспецифичных реакций и возможной обратной корреляции между накоплением первичных и вторичных метаболитов.

Ключевые слова: гидропоника, лекарственное растительное сырье, стандартизация фитосырья, аэропоника, биологически активные вещества

Лекарственные растения представляют собой важный источник биологически активных веществ (БАВ), обладающих разнообразными фармакологическими свойствами, что делает их незаменимым компонентом современной медицины и фармацевтической промышленности. По оценкам ВОЗ, 80% населения мира зависит от лекарственных средств на основе растений. Существует по меньшей мере 35 тысяч видов растений, которые используются в медицинских целях как антибактериальные, противогельминтные, противодиабетические, обезболивающие, антиоксидантные, противовоспалительные и жаропонижающие средства [1]. Фитопрепараты составляют примерно 25% от общего количества зарегистрированных лекарственных средств [2]. Наряду с этим отмечается тенденция роста потребности населения в лекарственном растительном сырье в среднем на 17,8% ежегодно [2].

В условиях растущих требований к качеству и безопасности лекарственных средств особую значимость приобретает воспроизводимость химического профиля лекарственного растительного сырья [3,4].

БАВ, определяющие целевой профиль растений, локализируются преимущественно в определенных органах и тканях, что обуславливает специфику сбора сырья и необходимость точного определения сроков заготовки, соответствующих максимальному накоплению действующих компонентов. Получение лекарственного растительного сырья традиционными агротехнологиями сопряжено с рядом существенных ограничений, главным из которых является высокая зависимость от экологических факторов и природных условий – климата, почвенных характеристик, водного режима и фитосанитарной обстановки. Данные переменные не только ограничивают географию культивирования, но и снижают воспроизводимость агротехнологических процессов, что, в свою очередь, затрудняет обеспечение стабильного производства и постоянства химического состава сырья. В условиях растущих требований к стандартизации фитопрепаратов особую актуальность приобретают контролируемые методы культивирования, позволяющие минимизировать внешние воздействия и гарантировать воспроизводимость биохимического профиля конечного продукта.

Среди таких методов особое внимание уделяется гидропонике. Гидропоника представляет собой метод культивирования растений в искусственной среде, где все необходимые питательные элементы доставляются к корневой системе через водный раствор. При строгом соблюдении

агротехнических протоколов органолептические и нутритивные качества продукции, полученной гидропонным способом, зачастую превосходят аналоги, выращенные традиционным почвенным методом [5]. Базовые принципы гидропоники заключаются в обеспечении растений сбалансированным питательным раствором, поддержании оптимального температурного режима и постоянной оксигенации корневой системы. Выбор конкретной гидропонной системы определяется биологическими особенностями культивируемого вида, бюджетом и требованиями к сложности эксплуатации. Виды гидропонных систем представлены в **табл. 1**.

Данные, представленные в **табл. 1**, свидетельствуют о том, что различные типы гидропонных систем отличаются по методам работы, затратам и необходимому уходу. Простые системы, такие как DWC, используются для быстрого выращивания зелени, а сложные, как аэропоника, дают корням больше кислорода и позволяют быстрее впитывать питательные вещества, но требуют больших вложений и контроля.

Интеграция данных технологий в практику культивирования лекарственных растений представляет собой перспективное направление, способствующее устойчивому развитию фармацевтической отрасли и расширению ассортимента фитопрепаратов.

Цель работы – анализ современного состояния разработок в области гидропонных технологий выращивания лекарственных культур и их сравнительное изучение с традиционно выращенными по параметрам роста и накопления БАВ в растениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Информация о гидропонном методе выращивания и перспективах использования гидропоники для выращивания лекарственных растений получена путем изучения и анализа научной литературы российских и зарубежных авторов.

Ретроспективный анализ литературы проводился за последние 5 лет с использованием электронных баз данных eLIBRARY (www.elibrary.ru), Google Академия (scholar.google.com), PubMed.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Факторы, влияющие на рост и вторичные метаболиты лекарственных растений, выращиваемых на гидропонике

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ВИДОВ ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМ

Система	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
DWC (Deep Water Culture – система глубоководных культур)	Корни растений погружены в аэрируемый питательный раствор, удерживаются на плавающей платформе	Простота конструкции, низкая стоимость, быстрый рост листовых культур	Высокий риск корневой гнили при отключении аэрации
Капельная система	Раствор подается через капельницы к каждому растению с помощью насоса и таймера	Эффективное использование раствора, подходит для широкого спектра культур	Требует фильтрации и регулярного обслуживания; возможны засоры капельниц
Аэропоника	Корни находятся в воздухе и периодически орошаются мелкодисперсным туманом питательного раствора	Максимальная аэрация корней, высокая скорость роста и усвоения воды	Высокая стоимость, полная зависимость от бесперебойной работы насосов и форсунок
NFT (Nutrient Film Technique – техника питательного слоя)	Тонкая струя раствора постоянно течет по наклонному каналу, омывая корни	Компактность, экономия раствора, хорошая оксигенация корней	Уязвима к отключениям электропитания и засорам; не подходит для крупных растений
Система периодического затопления	Корневая зона периодически затопляется раствором из резервуара, затем он сливается обратно	Надежна, универсальна, совместима с разными субстратами	Требует точной настройки циклов; при ошибках – застой воды и корневые заболевания
Аквапоника	Комбинирует гидропонику и аквакультуру: рыбные отходы преобразуются бактериями в питательные вещества для растений	Почти замкнутый цикл воды и питательных веществ, экологичность	Сложна в настройке и балансировке; требует знаний в аквакультуре и микробиологии

Особое значение в гидропонных системах имеет сбалансированность питательного раствора: подбор макро- и микроэлементов напрямую влияет на интенсивность роста и синтез метаболитов [24]. Кислотность среды, в свою очередь, определяет доступность питательных элементов для корневой системы – ее колебания могут привести к выпадению солей в осадок, что затрудняет усвоение питательных веществ [24]. Электропроводность же служит надежным индикатором общей концентрации ионов в растворе [26].

Световой спектр также играет не последнюю роль: так, по данным исследований, красная часть спектра способствует накоплению фенольных соединений у *Crepidastrum denticulatum* [23]. Температурный режим, в свою очередь, оказывает существенное влияние как на развитие растений, так и на образование вторичных метаболитов, причем оптимальные значения сильно различаются в зависимости от вида [25].

Обработка растений стимуляторами и элиситорами

Предпосевная обработка семян является одним из ключевых приемов повышения всхожести и стимуляции раннего роста, особенно у видов с физиологическим или химическим покоящимся состоянием семян. В условиях гидропонного культивирования этот этап приобретает особое значение, поскольку позволяет стандартизировать стартовые условия развития растений.

В исследовании Балашовой И.Т. (2021) [6] изучался метод повышения всхожести трудно прорастающих семян растений семейства *Apiaceae*: укропа пахучий (*Anethum graveolens* L.), сельдерея листовой (*Apium graveolens* L.), кориандра посевной (*Coriandrum sativum* L.), имеющих низкую всхожесть из-за эфирных масел. Семена обрабатывали 0,001% водными растворами природных иммуномодуляторов (линарозид из *Linaria vulgaris*, молдстим из *Capsicum annuum*) в течение 24 часов

и высаживали в торфяной субстрат на автоматизированной гидропонной установке (22–24°C, влажность 50–60%). Обработка линарозидом эффективно повысила всхожесть, биометрические показатели и содержание антиоксидантов и полифенолов у кориандра. Результаты подтверждают эффективность природных иммуномодуляторов (особенно линарозида) для улучшения роста *Apiaceae* на гидропонике и перспективность метода для сохранения биоактивных свойств растений семейств *Apiaceae*, *Lamiaceae* и *Hypericaceae*.

В работе [7] проводилось изучение биохимического состава надземных частей ряда ароматических и лекарственных растений при культивировании на многоярусных гидропонных конструкциях. Объектами выступали виды из семейств *Lamiaceae* (*Monarda fistulosa*, *Nepeta cataria*, *Mentha piperita*, *Melissa officinalis*), *Hypericaceae* (*Hypericum perforatum*) и *Apiaceae* (*Coriandrum sativum*, *Anethum graveolens*, *Apium graveolens*). Растения выращивали в пятиярусной гидропонной установке с автоматической подачей питательного раствора и искусственным освещением (светильники НАЗ-400, 16-часовой фотопериод, температура 22–24°C днем и 18–20°C ночью). Семена представителей *Apiaceae* предварительно обрабатывали 0,001%-ными водными растворами природных иммуномодуляторов – линарозидом и молдстимом. Анализировали содержание сухого вещества, суммарных антиоксидантов и полифенолов. Обработка семян *Coriandrum sativum* линарозидом повысила содержание сухого вещества, антиоксидантов и полифенолов, а также увеличила массу и высоту надземной части. Молдстим, напротив, снизил содержание сухого вещества и антиоксидантов у кориандра посевного, не повлияв на рост. При культивировании *Anethum graveolens* линарозид и молдстим стимулировали всхожесть и накопление сухого вещества, однако не оказали достоверного влияния на содержание антиоксидантов и полифенолов. Модуляторы не изменили биохимический состав надземной части, при этом линарозид значительно повысил всхожесть, высоту и массу растений.

Экзогенное применение элиситоров (биотических и абиотических сигнальных молекул, имитирующих стрессовые условия) представляет собой высокоэффективную стратегию повышения содержания БАВ в лекарственных растениях, культивируемых с помощью гидропонных систем. Наиболее изученными и фармакологически значимыми элиситорами являются метилжасмонат (MeJA) и наночастицы серебра (AgNPs).

MeJA функционирует как фитогормональный элиситор, активирующий сигнальные каскады, связанные с защитной реакцией растений. В исследованиях на *Allium tuberosum* (китайский зеленый лук) и *Silybum marianum* (расторопша пятнистая) показано, что обработка MeJA (100–800 мкМ) существенно усиливает биосинтез как первичных, так и вторичных метаболитов. В гидропонной культуре *A. tuberosum* применение 500 мкМ MeJA приводило к достоверному увеличению общего содержания аминокислот на 25–38%, включая незаменимые (лизин, изолейцин, метионин) и серосодержащие (цистеин), а также повышению концентрации органических кислот, в первую очередь лимонной и яблочной. Одновременно наблюдалось увеличение общего содержания фенольных соединений на 28–47% по сравнению с контролем, что коррелировало с ростом антиоксидантной активности по методам DPPH, ABTS, FRAP и ORAC [20].

В другом исследовании MeJA (100 мкМ/л) индуцировал максимальное накопление хлорофилла *a* (29 мкг/г свежей массы) и хлорофилла *b* (33,6 мкг/г), а также повышал содержание каротиноидов до 9 мкг/г свежей массы. Кроме того, MeJA значительно усиливал продукцию флавоноидов и лигнина, что подтверждает его роль в активации фенилпропаноидного пути через индукцию ключевых ферментов – фенилаланин-аммиаклиаза, циннамат-4-гидроксилаза и 4-кумароил-КоА-лигаза. Накопленные метаболиты обладают выраженной антиоксидантной, противовоспалительной и нейропротекторной активностью, что расширяет фармацевтическую ценность получаемого сырья [21].

Свет

Спектральный состав и интенсивность искусственного освещения оказывают прямое влияние на фотосинтетическую активность, морфогенез и синтез вторичных метаболитов у лекарственных растений. В гидропонных системах, где свет является полностью контролируемым фактором, его параметры могут быть настроены для максимизации целевых БАВ.

В исследовании [8] разработана технология гидропонной светокультуры кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.). Семена дикорастущей кровохлебки проращивали в темноте при 23–24°C и влажности 90%, после чего растения культивировали в гидропонной установке с периодическим затоплением. Поддерживались оптимальные параметры: pH питательного

раствора 5,8–6,0, температура раствора 20°C, воздуха 23°C, влажность 50–60%. Использовались два режима освещения: белые светодиоды (4000 К, PPF 165 мкмоль/с/м²) и комбинированные (красные, синие и белые диоды в соотношении 32:16:32, PPF 143 мкмоль/с/м²). На ранних этапах исследования существенных различий в росте не отмечалось, однако через 80 дней при белом освещении средняя высота растений составила 35,0 см против 22,5 см при комбинированном свете. Сравнительное изучение влияния освещенности продемонстрировало положительное влияние белого света на длину корня (13,4 см против 10,8 см) и суммарную массу корней (57,9 г против 49,1 г) [8].

Наряду с этим проведено определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях кровохлебки, подвергавшейся воздействию различных спектров светодиодного освещения. При изучении влияния света на содержание хлорофилла *a* установлено, что выход при использовании комбинированного света (1,730 мг/г) выше, чем при воздействии белого освещения (1,165 мг/г). Отмечены существенные различия в соотношении хлорофиллов *a* и *b*: наибольшие значения зафиксированы при воздействии комбинированным светом (0,672) и в естественных условиях (0,726). Стоит отметить, что содержание каротиноидов оказалось выше под белым светом (0,711 мг/г) в сравнении с комбинированным (0,691 мг/г) и в природных условиях (0,521 мг/г) [8].

Питательные вещества

Эффективное выращивание растений в гидропонике невозможно без регулирования питательного режима. Для полноценного развития растению необходимы макро- (азот, калий, кислород и др.) и микроэлементы (железо, цинк, хлор и др.) [28]. Питательный раствор в гидропонных системах специально формулируется так, чтобы обеспечить оптимальный баланс как макро-, так и микроэлементов, отвечающих всем потребностям растения на разных этапах его жизненного цикла [25].

В работе [9] предложен метод получения возобновляемого лекарственного сырья лапчатки белой (*Potentilla alba L.*) посредством микроклонального размножения и гидропонного выращивания, обеспечивающий сохранение химического состава и биологической активности, сопоставимых с интактными растениями. В экстракте лапчатки белой выделяются флавоноиды (регулируют проницаемость и эластичность сосудистых стенок,

препятствуют атеросклеротическим изменениям и нейтрализуют свободные радикалы), фенолкарбоновые кислоты (обладают антимутагенными и мочегонными свойствами), сапонины и гликозиды (обладают кардиотоническим, нейротропным, гипохолестеринемическим, кортикотропным, адаптогенным и седативным действием) [10,11].

В экспериментах использовали стерилизованные фрагменты растений, посаженные на питательные среды с различными концентрациями фитогормонов (бензиладенин, индолилмасляная кислота, гибберелловая кислота), при этом микроклональное размножение обеспечило получение большого числа однородных экземпляров для дальнейшей культивации. Регенеранты адаптировали в гидропонной установке «Мини-вит» при 24–26°C на питательном растворе MS (1/4 концентрации макро- и микроэлементов, полный набор витаминов, хелат железа и хлорид кальция); масса растений при высадке составляла 0,25 г при плотности 750 растений на 1 м². Круглогодичное гидропонное выращивание обеспечило урожайность 10,05 кг/м² сырой массы в год. Разработанная методика обеспечивает устойчивый источник высококачественного лекарственного растительного сырья, соответствующего требованиям современной медицины и фармацевтики [9].

В работе Макарова П.Н. [12] представлена методика гидропонного культивирования зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum L.*) – ценного лекарственного растения, содержащего гиперин, гиперозид, кверцетин, рутин, флороглюцин и гиперфорин. Культивирование осуществлялось на вертикальной гидропонной установке с системой периодического затопления, в качестве субстрата использовалась минеральная вата (Speland), пропитанная питательным раствором на основе Yara Fertilcare Hydro с добавлением кальциевой селитры (Yara Liva Calcinit). Посев семян осуществлялся по 10 штук на кубик субстрата с последующей трехдневной инкубацией в темноте при температуре 25°C и влажности 90%.

Сравнивались два варианта освещения: белые светодиоды и смесь красных, синих и белых диодов в соотношении 32:16:32. Белые светодиоды стимулировали переход к цветению на 97-й день после посева, в то время как при смешанном освещении цветение не наблюдалось к 133-му дню. Растения под белыми диодами демонстрировали большую массу (11,04 г и 8,76 г соответственно), что привело к увеличению общей урожайности [12].

В работах авторов проведено исследование [13], направленное на изучение влияния различных спектров светодиодного освещения на формирование вегетативной массы мяты перечной (*Mentha piperita* L.) и Melissa лекарственной (*Melissa officinalis* L.) при выращивании на вертикальных стеллажах методом гидропоники. Melissa в Европе традиционно используется как лекарственное растение для снятия нейрогенных расстройств, бессонницы и стресса из-за его спазмолитического действия и седативных свойств. Освещение растений обеспечивалось светильниками с синими, зелеными и красными светодиодами при общей фотосинтетической активной радиации интенсивности 150 ммоль/м²с с добавлением дальнего красного спектра – 12% (светильники 1 и 3) и 6% (светильник 2) – для стимулирования прорастания семян и роста растений. Питание осуществлялось водорастворимыми минеральными удобрениями с микроэлементами в хелатной форме, при электропроводности 2,9–3,1 мСм/см и pH 5,8–6,0. Добавление 6% дальнего красного света стимулирует фотосинтез в листьях. Светодиодное освещение в сочетании с гидропоникой создает подходящие условия для роста, что повышает урожайность. Максимальный прирост надземной массы и сухого вещества мяты наблюдался при добавлении дальнего красного света (табл. 2) [13].

В работе Мулюкина М.А. (2023) рассматривается влияние условий выращивания на химический состав и выход эфирного масла (ЭМ) много-

летнего травянистого растения тархун (*Artemisia dracunculus* L.) [14]. Исследования проводились в двухъярусной гидропонной установке «Система-4Д» с минераловатным субстратом и применением комплексных водорастворимых удобрений при контролируемых параметрах раствора (pH 5,8–6,2; электропроводность 1,6–2 мСм/см). Световой режим включал 16 часов освещения с использованием белых и цветных светодиодных ламп с доминантами красного (625 нм) и синего (470 нм) спектров.

Выход эфирных масел при культивировании в открытом грунте составлял 0,64% от массы абсолютно сухого сырья, тогда как при гидропоническом выращивании – 0,24% под цветным освещением и 0,58% под белым. Основные компоненты ЭМ включали тимол (3,2–26,4%), метилэвгенол (21,2–47,4%), элимицин (15,1–28,8%) и изоэлимицин (7,2–30,0%). Цветное освещение способствовало увеличению содержания метилэвгенола (в 1,6 раза), тимола (в 3,5 раза) и терпинен-4-ола (в 2 раза) по сравнению с эфирным маслом из растений открытого грунта. Белые лампы стимулировали накопление изоэлимицина (в 1,2 раза), карвакрола (в 2 раза) и тимола (в 8 раз). Показано, что интенсивность и спектральный состав освещения существенно влияют на рост, развитие и синтез эфирного масла эстрагона. Избыточное солнечное излучение в летний период приводит к повышению температуры тканей и испарению эфирных масел, снижая биохимическую активность.

Таблица 2

ПОКАЗАТЕЛИ ПРИРОСТА НАДЗЕМНОЙ МАССЫ И СУХОГО ВЕЩЕСТВА РАСТЕНИЙ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ (*MENTHA PIPERITA* L.) И МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ (*MELISSA OFFICINALIS* L.)

Вариант светодиодного освещения	Надземная масса, г/растение			Сухое вещество, г/растение		
	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Ветвление	Бутонизация	Цветение
	Мята перечная (<i>Mentha piperita</i> L.)					
1	11,05	14,34	31,02	1,93	2,79	7,38
2	9,96	11,15	27,45	1,69	2,05	6,47
3	8,04	12,14	24,26	1,24	2,24	6,03
	Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i> L.)					
1	9,23	13,09	35,56	1,32	2,05	7,19
2	9,11	13,79	43,30	1,27	2,30	9,13
3	10,69	12,70	33,39	1,42	2,06	5,98

В исследовании И.В. Кравченко (2021) проведен сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов и флавоноидов в образцах орегано греческого (*Origanum vulgare L.*, сорт греческий), орегано итальянского и зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum L.*), выращенных гидропонным методом, в сравнении с аптечными фитопрепаратами [16]. Растительное сырье орегано и зверобоя обладает антимикробной активностью, местноанестезирующим, бактериостатическим, седативным действием. Помимо этого, растительное сырье зверобоя обладает антидепрессантными свойствами [15]. Использовались два режима светодиодного освещения: белое (4000 К, PPF 165 мкмоль/с/м²) и комбинированное – красные, синие и белые диоды в соотношении 32:16:32 (PPF 143 мкмоль/с/м²).

Анализ показал, что при белом освещении содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды) в орегано было значительно выше, чем при комбинированном: у греческого орегано – в 3,2–10,6 раза выше по хлорофиллу *a*, в 2,7–8,6 раза – по хлорофиллу *b*, в 2,9–11 раз – по каротиноидам. У зверобоя различия между типами освещения были менее выраженными. Соотношения «хлорофиллы *a/b* и (*a+b*)/каротиноиды» оставались в пределах физиологической нормы для всех образцов (табл. 3).

Для оценки эффективности гидропонных технологий в контексте фармацевтического применения необходимо сопоставлять получаемое сырье с традиционно выращенным в почве. Такое срав-

нение позволяет выявить не только преимущества по урожайности, но и возможные компромиссы в содержании ключевых БАВ.

В исследовании Ковалева И.С. с соавт. (2022) проведено сравнение содержания БАВ в траве кресс-салата (*Lepidium sativum L.*), выращенного гидропонным и почвенным способами. Кресс-салат признан перспективным лекарственным и пищевым растением, пригодным для гидропонного культивирования, обладающим высоким содержанием БАВ, что обеспечивает широкий спектр фармакологической активности [17].

Выращивание осуществлялось на гидропонной установке «Домашний сад» с использованием перлита в качестве субстрата. Результаты показали, что рост и фенологическое развитие кресс-салата на гидропонике происходили значительно быстрее, а урожайность была выше по сравнению с почвенным методом. Однако содержание основных БАВ в траве, выращенной на почве, оказалось в 2–3 раза выше, чем при гидропонном выращивании: дубильных веществ (в пересчете на танин) – 0,183±0,002% против 0,105±0,003%, аскорбиновой кислоты – 0,28±0,01% против 0,140±0,007%, суммы флавоноидов (в пересчете на рутин) – 0,0189±0,0002% против 0,0059±0,0002% соответственно.

Мексиканские ученые (2022) [18] изучили метод культивирования арники горной (*Arnica montana*) и многоколосника мексиканского (*Agastache mexicana*) с использованием гидропонники. Многоколосник известен своими успокаива-

Таблица 3

СОДЕРЖАНИЕ БАВ И ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ОРЕГАНО ГРЕЧЕСКОГО, ОРЕГАНО ИТАЛЬЯНСКОГО И ЗВЕРБОЯ ПРОДЫРЯВЛЕННОГО

Название растений	Хлорофилл, <i>a</i> , мг/г	Хлорофилл, <i>b</i> , мг/г	Каротиноиды, мг/г	Флавоноиды, мг/г
Орегано греческий (Ц)	1,76±0,001	0,74±0,004	0,26±0,002	2,39±0,01
Орегано греческий (Б)	5,83±0,07	2,32±0,05	0,99±0,05	0,52±0,02
Орегано итальянский (Ц)	4,19±0,22	1,90±0,13	0,59±0,05	0,48±0,03
Орегано итальянский (Б)	4,55±0,09	2,03±0,07	0,84±0,06	2,35±0,02
Орегано аптечный, контроль	0,55±0,04	0,27±0,02	0,09±0,004	4,38±0,02
Зверобой продыряв. (Ц)	2,28±0,01	0,68±0,02	0,51±0,03	1,03±0,04
Зверобой продыряв. (Б)	2,01±0,02	0,61±0,02	0,48±0,02	1,01±0,04
Зверобоя трава, аптеч., контроль	0,52±0,03	0,33±0,03	0,06±0,005	9,38±0,03

Примечание: Ц – цветные лампы; Б – белые лампы

ющими, ранозаживляющими и болеутоляющими свойствами. Арника, в свою очередь, проявляет антибактериальную, противоопухолевую, антиоксидантную, противовоспалительную, противогрибковую и иммуномодулирующую активность. Растения разделили на две группы: гидропонную (выращивание в неорганическом субстрате с питательным раствором) и контрольную (традиционное выращивание в органическом субстрате без подкормки). В качестве неорганического субстрата использовали минеральный субстрат красного тезонтла (магматической породы вулканического происхождения), а в качестве органического субстрата – чернозем.

В ходе исследования выявлено, что высота растений арники и многоколосника при гидропонном выращивании была больше, чем в контрольной группе. У арники высота увеличилась на 36,5%, а у многоколосника на 38,4% по сравнению с контролем. Различия в биомассе между гидропонным и традиционным способами выращивания также оказались существенными. Масса арники и многоколосника увеличилась по сравнению с контролем на 81,0% и 93,6%. Сравнение сухой массы растений показало, что у арники, выращенной гидропонным методом, она увеличилась на 56,0%, а у многоколосника на 70,3% по сравнению с кон-

трольной группой соответственно. Исследователи отмечают, что необходимы более обширные исследования для данного типа гидропонного производства и его влияния на агрономические и физико-химические характеристики исследуемых видов лекарственных растений.

Ученые Университета Малайер (Иран) (2020) [20] исследовали эффективность использования аэропонной системы для культивации лекарственных растений: цикория (*Cichorium intybus*), зимней вишни (*Withania somnifera*) и эхинацеи (*Echinacea purpurea*). Цикорий содержит сесквитерпеновые лактоны и эвдесманолиты/гермакранолиты/гуаянолиты в корнях; витания – витанолиты и витаферин А в листьях, обладающие антибактериальной и противоопухолевой активностью; эхинацея – алкамиты, полисахариды и производные кофейной кислоты с иммуностимулирующим и противовоспалительным действием.

Эксперимент проводился в контролируемых тепличных условиях (25°C/20°C, 16-часовой световой период) с использованием двух методов: традиционного почвенного и аэропонного. Аэропонная система включала два отсека: верхний для надземной части и нижний (100×100×120 см) для корней, периодически орошаемых питательным раствором (каждые 20 мин. по 20 с) через

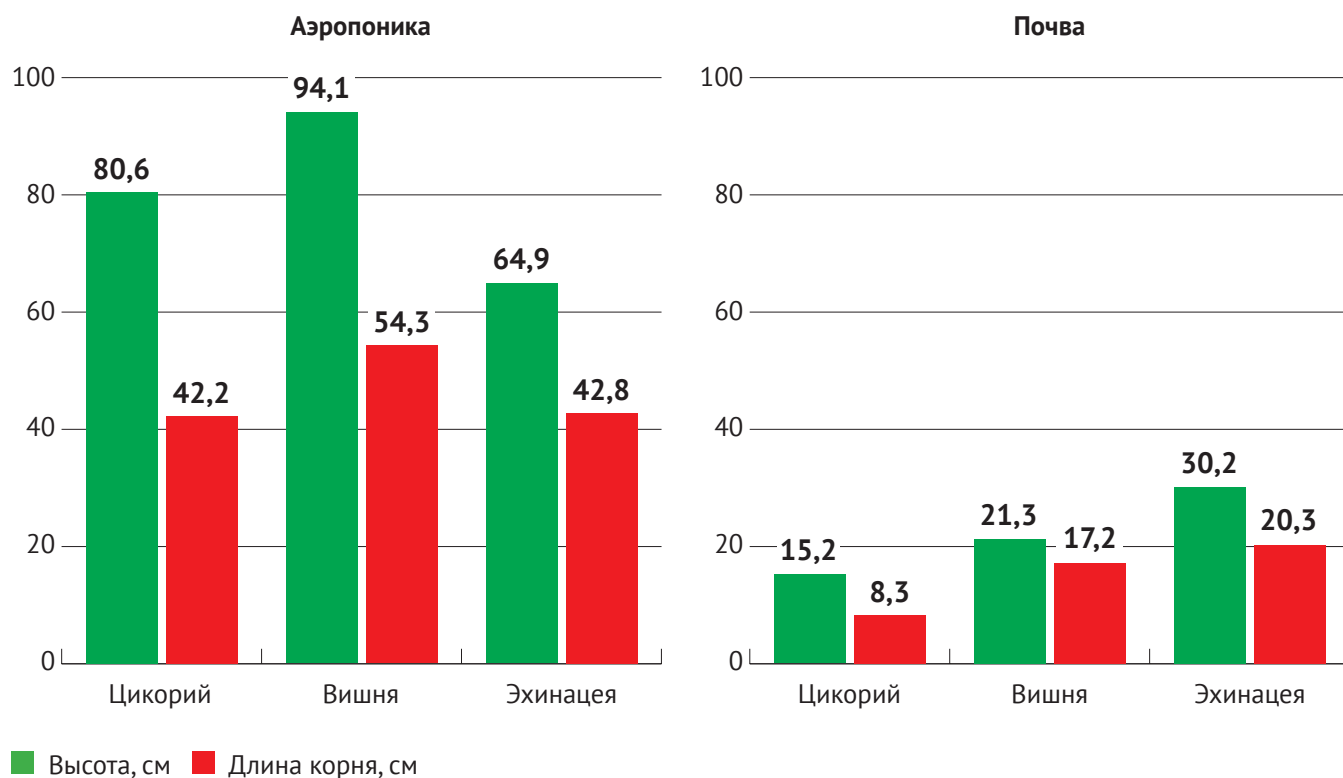


РИС. 1. Морфометрические показатели растений, выращенных в аэропонной системе и в почве: высота и длина корня у *Cichorium intybus*, *Withania somnifera* и *Echinacea purpurea*. Аэропоника обеспечивает достоверное увеличение параметров по сравнению с контролем

туманообразующие форсунки. Растения пересаживали в систему и собирали через 6 месяцев, регистрируя морфометрические параметры (высота, длина корня, количество листьев, площадь листьев) и биомассу (свежая и сухая масса корней и побегов, содержание хлорофилла). Результаты измерения представлены на **рис. 1**.

Гидропонная система обеспечивает эквивалентные или более высокие урожаи по сравнению с почвенным выращиванием. Потенциал повышения урожайности достигается за счет увеличенной плотности посадки, селекции сортов и множественных сборов.

ВЫВОДЫ

Гидропоника предлагает тонко регулируемый и высокоэффективный способ выращивания лекарственного растительного сырья, при котором удается стандартизировать химический состав биологически активных веществ, минимизировать влияние погодных условий и качества почвы, а также обеспечить непрерывное производство в течение всего года. Основное достоинство этого метода заключается в возможности точно управлять внешними параметрами: температурой, световым спектром, кислотностью и электропроводностью питательного раствора, а также вносить элиситоры — все это дает возможность целенаправленно воздействовать на метаболизм растений.

Вместе с тем, как отмечают специалисты, гидропонные системы не могут считаться универсальным подходом. Их эффективность достигается лишь при тщательной адаптации агротехнологических условий под конкретный вид растения и требуемый фармакологический профиль конечного продукта. Тем не менее при грамотной настройке параметров культивации такие системы способны обеспечивать стабильный выпуск качественного лекарственного сырья, полностью соответствующего стандартам фармакопеи и запросам современной фармацевтической отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесиовская Е.Е. Доказательная фитотерапия. — М.: Группа «Ремедиум», 2014. — 224 с.
2. Бойко Н.Н., Бондарев А.В., Жиликова Е.Т. и др. Фитопрепараты, анализ фармацевтического рынка Российской Федерации // Научные результаты биомедицинских исследований. 2017. Т. 3, №4. С. 30–38.
3. Левченко В.Н. и др. Возможности центра контроля качества лекарственных средств по поиску перспективных источников лекарственного растительного сырья // Военно-медицинский журнал. 2018. Т. 339, №7. С. 53–59.
4. Лужанин В.Г., Куркин В.А., Гравель И.В. Качество лекарственных растительных препаратов: новые аспекты и решения // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2023. Т. 13, №2. С. 128–133.
5. Gaja J., Bala S., Hugara S. Cultivation of medicinal plants using hydroponic system // Int.J. Res. Rev. 2023. V. 10. P. 17–21.
6. Балашова И.Т. и др. Результаты изучения зеленых культур семейства *Ariaceae* как генетических ресурсов для вертикального овощеводства с использованием природных иммуномодуляторов // Овощи России. 2021. №5. С. 44–48.
7. Балашова И.Т. и др. Биохимический состав ряда ароматических и лекарственных растений при культивации на многоярусных гидропонных конструкциях // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. №4(161). С. 67–77.
8. Бердышева Е.А., Макарова Т.А. Выращивание кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) в условиях светокультуры // Безопасный Север — чистая Арктика: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Сургут: Сургутский гос. ун-т, 2023. С. 55–61.
9. Тихомирова Л.И. и др. Способ получения лекарственного растительного сырья лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) в условиях гидропоники // Химия растительного сырья. 2016. №3. С. 59–66.
10. Семенова Е.Ф., Преснякова Е.В. Химический состав лапчатки белой и применение ее с лечебной целью // Бутлеровские сообщения. 2001. №5.
11. Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., Василевская Т.И. и др. Сравнительная оценка накопления фенольных соединений в надземных и подземных органах лапчатки в условиях Беларуси // Бюллетень Главного ботанического сада. 2002. Вып. 183. С. 34.
12. Макаров П.Н. и др. Элементы агротехники зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) в условиях светокультуры // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. №10(204). С. 44–50.

13. Князева И.В. и др. Технологические приемы выращивания мяты и Melissa на вертикальных стеллажах // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. №11(176). С. 78–84.
14. Мулюкин М.А., Булатова Е.В., Кравченко И.В. и др. Состав эфирного масла *Artemisia dracunculifolia* L. в зависимости от условий выращивания // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2023. Т. 9, №1. С. 285–296. DOI: 10.29039/2413-1725-2023-9-1-285-296.
15. Боков Д.О., Морохина С.Л. Фармакотерапевтическое действие и использование в практической медицине травы душицы обыкновенной // Медицина и здравоохранение: Материалы I междунар. науч. конф. – Чита: Изд-во «Молодой ученый», 2012. С. 52–59.
16. Кравченко И.В. и др. Количественное содержание пигментов фотосинтеза и флавоноидных соединений в растительных образцах орегано и зверобоя продырявленного, выращенных с помощью гидропонного метода // Проблемы региональной экологии. 2021. №5. С. 5–11.
17. Ковалев И.С., Ковалева Е.С., Соколова Ю.А., Ковалов А.М. Сравнение содержания некоторых групп биологически активных веществ в траве кресс-салата, выращенной гидропонным и почвенным способом // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник научных трудов. 2022.
18. Nava M.A. G. et al. Hydroponic production of the medicinal plants *Arnica* (*Arnica montana* L.) and *Toronjil* (*Agastache mexicana*) under greenhouse conditions // Rev.Mex. Cienc. Agríc. 2022. V. 13, №5. P. 1–12.
19. Movahedi Z., Rostami M. Production of some medicinal plants in aeroponic system // Journal of Medicinal Plants and By-products. 2020. V. 9, №1. P. 91–99.
20. Wang C. et al. Effect of methyl jasmonate treatment on primary and secondary metabolites and antioxidant capacity of the substrate and hydroponically grown Chinese chives // Frontiers in Nutrition. 2022. V. 9. P. 859035.
21. Venkatasai N.N. et al. A comprehensive review of factors affecting growth and secondary metabolites in hydroponically grown medicinal plants // Planta. 2025. V. 261. №3. P. 48.
22. Khan S., Purohit A., Vadsaria N. Hydroponics: current and future state of the art in farming // Journal of Plant Nutrition. 2020. V. 44. №10. P. 1515–1538.
23. Bae J.H., Park S.Y., Oh M.M. Supplemental irradiation with far-red light-emitting diodes improves growth and phenolic contents in *Crepidiastrum denticulatum* in a plant factory with artificial lighting // Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2017. V. 58. №4. P. 357–366.
24. Al Meselmani M.A. Nutrient solution for hydroponics // Recent research and advances in soilless culture. – IntechOpen, 2022.
25. Sharma A. et al. Crop hydroponics, phyto-hydroponics, crop production, and factors affecting soilless culture // ACS Agricultural Science & Technology. 2022. V. 2. №6. P. 1134–1150.
26. Shawon M.R. A. et al. The electrical conductivity of nutrient solution influenced the growth, centellosides content and gene expression of *Centella asiatica* in a hydroponic system // Agriculture. 2023. V. 13. №12. P. 2236.
27. White P.J., Brown P.H. Plant nutrition for sustainable development and global health // Annals of botany. 2010. V. 105. №7. P. 1073–1080.

INVESTIGATION OF THE USE OF HYDROPONIC SYSTEMS IN THE CULTIVATION OF MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS (LITERATURE REVIEW)

I.V. Markin^{1,2}, M.A. Dzhavakhyan^{3,4}, O.N. Bykhalova², N.V. Varlamova^{1,2}, M.O. Makarov¹

¹ Federal State Autonomous Institution Military Innovative Technopolis “ERA” of the Ministry of Defense of the Russia, Anapa, Krasnodar Territory, Russia

² Federal State Budgetary Institution State Reserve “Utrish”, Anapa, Krasnodar Territory, Russia

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian University of Medicine” of the Ministry of Health of the Russia, Moscow, Russia

⁴ Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”, Moscow, Russia

*The review presents an analysis of modern hydroponic technologies as a tool for standardizing the cultivation of medicinal plant raw materials. Major types of hydroponic systems – such as Deep Water Culture (DWC), Nutrient Film Technique (NFT), aeroponics, drip irrigation, and others – are described, along with their advantages and limitations. Particular attention is given to the influence of controlled factors – including seed pre-sowing treatments, light spectral composition, nutrient solution formulation, and substrate type – on seed germination, biomass accumulation, and the synthesis of biologically active compounds (BACs). Data are provided for species such as *Hypericum perforatum*, *Sanguisorba officinalis*, *Mentha piperita*, *Melissa officinalis*, *Potentilla alba*, *Artemisia dracunculus*, and others, demonstrating that hydroponics enhances the accumulation of primary metabolites (e.g., chlorophylls and carotenoids) and enables precise control over morphogenesis (e.g., white LED light effectively induces flowering in *St. John's wort*). At the same time, a tendency toward reduced concentrations of certain secondary metabolites – such as flavonoids and essential oils – has been observed compared to soil-based cultivation, highlighting the need for species-specific optimization of agronomic protocols. The review confirms the potential of hydroponics to produce reproducible, high-quality herbal raw materials that meet pharmacopoeial standardization requirements.*

Keywords: hydroponics, medicinal plant raw materials, standardization of phytochemicals, aeroponics, biologically active compounds

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПУБЛИКАЦИЙ

Редакция журнала «Вопросы обеспечения качества лекарственных средств» просит авторов при подготовке статей для публикации соблюдать следующие правила.

Редакционная этика. Представленные в работе данные должны быть оригинальными. Не допускается направление в редакцию работ, которые уже напечатаны в других изданиях или приняты для публикации другими редакциями.

Статья должна сопровождаться официальным направлением от учреждения, в котором выполнена работа, иметь визу научного руководителя, печать. Статья должна быть подписана всеми авторами (на последней странице), что дает право на ее публикацию и размещение на сайте издательства.

Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать принятые работы. Датой поступления статьи считается время поступления окончательного (переработанного) варианта статьи.

Статья должна быть тщательно отредактирована и выверена автором. Изложение должно быть ясным, без длинных введений и повторений.

1. Схема построения статьи. ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ:

1) название статьи; 2) инициалы и фамилии авторов; 3) полное название учреждения, в котором работает автор, с обязательным указанием статуса организации (аббревиатура перед названием) и ведомственной принадлежности; 4) город; 5) УДК.

После титульной страницы на английском языке должны быть представлены: название статьи; инициалы и фамилии авторов; полное название учреждения; реферат (не более 0,5 страницы машинописного текста) и ключевые слова (Keywords).

На отдельной странице указываются дополнительные данные о каждом авторе, необходимые для обработки журнала в Российском индексе научного цитирования: ФИО полностью на русском языке и в транслитерации, e-mail, почтовый адрес (с индексом), телефон для контактов с авторами статьи.

Далее оригинальные статьи должны содержать следующие разделы: РЕЗЮМЕ; КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА; КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ, отражающее состояние вопроса к моменту написания статьи, цель и задачи настоящего исследования; МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ; РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕ-

НИЕ; ВЫВОДЫ (по пунктам) или ЗАКЛЮЧЕНИЕ; БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

2. Объем оригинальной статьи не должен превышать 10 страниц машинописного текста, лекции – 8–10, обзора литературы – 18–20, рецензий, хроники – 4–5, персоналей – 2–3. При подготовке обзорных статей просьба включать в список литературы преимущественно издания последних лет.
3. Материалы должны быть подготовлены в текстовом редакторе Microsoft Word (параметр «Текст DOC»); компьютерный набор должен быть выполнен без форматирования и переносов в текстовом формате ANSI, 14 кеглем, через 1,5 интервала между строками (двойной интервал машинописи).
4. Рисунки в виде графиков, диаграмм необходимо дополнить цифровыми данными в виде таблиц в программе Excel.
5. Рисунки в виде фотографий (гистограммы, эхограммы и др.) должны быть представлены отдельными файлами, а не вставленными в текст статьи. Формат файла для черно-белых рисунков BMP или GIF (расширение *.bmp, *.gif), для цветных рисунков и шкалы серого цвета – JPG (расширение *.jpg), разрешение 600 dpi (пиксели на дюйм); возможно использование сжатия ZIP, RAR или другого.
6. Подписи к рисункам располагаются после списка литературы. Каждый рисунок должен иметь общий заголовок, а затем объясняются все имеющиеся в нем цифровые и буквенные обозначения. В подписях к микрофотографиям необходимо указать метод окраски, увеличение.
7. Таблицы должны быть пронумерованы (сверху справа), иметь название. Сокращения слов в таблицах не допускаются. Таблицы можно давать в тексте, не вынося на отдельные страницы.
8. Все физические величины, приведенные в статье, должны быть выражены в единицах СИ. При подготовке статьи необходимо учесть правила использования символов, сокращений, условных обозначений и пр., рекомендованных комиссией по биохимической номенклатуре.
9. Библиографический список должен включать не более 20 источников, для обзоров – не бо-

лее 50. В список литературы не включают неопубликованные работы.

10. Нумерацию источников литературы начинают с цифры 1. В тексте статьи ссылки даются в ква-

дратных скобках в строгом соответствии с пристатейным списком литературы. Нумерация источников литературы определяется порядком их цитирования в тексте, а не по алфавиту.

ПРИМЕР ЦИТИРОВАНИЯ СТАТЕЙ ИЗ ЖУРНАЛОВ И ДРУГИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ

1. Лоскутова Е.Е., Базаркина О.В. Тенденции и структура спроса на препараты из лекарственных растений // Российские аптеки. – 2003. – №4. – С. 38–40.

ПРИМЕР ЦИТИРОВАНИЯ КНИГ И ОТДЕЛЬНЫХ ГЛАВ

1. Аникин Б.А., Родкина Т.А. Логистика. – М.: Велби, Проспект, 2008. – 408 с.
2. Долгушин И.И., Бухарин О.В. Нейтрофилы и гомеостаз / Под. ред. Долгушина И.И. – Екатеринбург, Медицина, 2001. – 279 с.
3. Растительные ресурсы России. Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 2. СПб – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 513 с.

ПРИМЕР ЦИТИРОВАНИЯ ДИССЕРТАЦИЙ И АВТОРЕФЕРАТОВ ДИССЕРТАЦИЙ

1. Орлов Ф.С. Анализ и стандартизация лекарственной формы с модифицированным высвобождением нового оригинального отечественного препарата дилепт: дис. ... канд. фарм. наук. – М.: ПМГМУ им. И.М. Сеченова, 2012. – 125 с.

Автор несет полную ответственность за точность данных, приведенных в пристатейном списке литературы.

В редакцию статья направляется по электронной почте на адрес: journal@humanhealth.ru

Статьи, оформление которых не соответствует правилам, возвращаются авторам без рассмотрения редколлегией.