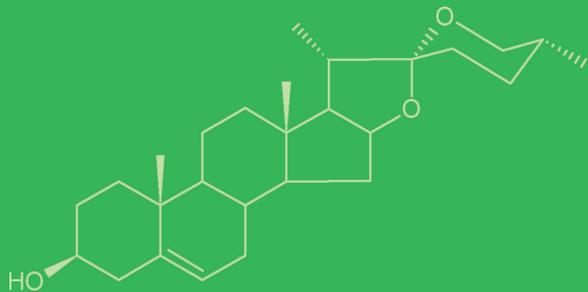


# РЕСУРСЫ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ



**БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ  
ВЕЩЕСТВА И МИКРОНУТРИЕНТЫ  
В ЛУКЕ *ALLIUM SCHOENOPRASUM* L.  
НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ  
РОССИИ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА  
«КОМИ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ИБ ФИЦ КОМИ НЦ УрО РАН)

## РЕСУРСЫ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

И.В. БЕШЛЕЙ, Т.И. ШИРШОВА,  
В.В. ВОЛОДИН

# БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МИКРОНУТРИЕНТЫ В ЛУКЕ *ALLIUM SCHOENOPRASUM* L. НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Под редакцией  
В.В. Володина

СЫКТЫВКАР  
2020

УДК 581.192:635.265  
ББК 28.572.539  
Б57

Бешлей И.В., Ширшова Т.И., Володин В.В. Биологически активные вещества и микронутриенты в луке *Allium schoenoprasum* L. на европейском северо-востоке России. – Сыктывкар, 2020. – 136 с. – (Ресурсы природной флоры Республики Коми / под редакцией В.В. Володина). DOI: 10.31140/book-2020-02

Библ. 369 назв. Табл. 29. Илл. 26.

Представлены сведения о содержании важнейших групп биологически активных веществ и микронутриентов (нейтральных и фосфолипидов, стероидов, высших жирных кислот, протеиногенных аминокислот, стероидных гликозидов, макро- и микроэлементов), результаты мониторинга их накопления в дикорастущих и культивируемых растениях *Allium schoenoprasum* L. на европейском северо-востоке России. Приведены результаты исследования антиоксидантной и противоопухолевой активности различных субстанций шнитт-лука. Рассмотрены возможности повышения селенового статуса растения с целью создания на его основе функциональных продуктов питания для профилактики селенодефицитных состояний и онкологических заболеваний.

Книга предназначена для специалистов в области ботанического ресурсоведения, экологии, ботаники, биохимии и физиологии растений, фармакологии, преподавателей и студентов высших учебных заведений химического, биологического и агрономического профиля.

Ответственный редактор  
В.В. Володин

Рецензенты:  
доктор биологических наук К.Г. Ткаченко  
доктор биологических наук Г.Н. Табаленкова

ISBN 978-5-6043449-5-8

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2020

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дорогие читатели! Представленная работа является второй книгой из серии монографий под общим названием «Ресурсы природной флоры Республики Коми», в которых главный акцент планируется сделать на дикорастущих видах лекарственных и пищевых растений флоры европейского северо-востока России. На протяжении многих лет существовала устойчивая точка зрения, что наибольший интерес в качестве источников биологически активных соединений представляют виды растений, произрастающих главным образом в условиях жаркого климата или в горах. С распадом Советского Союза ареалы многих ценных видов оказались за пределами Российской Федерации. Вне территории нашей страны остались и некоторые зональные станции Всесоюзного (ныне Всероссийского) научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР), расположенные на Украине, в Закавказье, Казахстане и Киргизии. Приходится признать, что Россия превратилась в крупного импортера лекарственного сырья из стран Восточной Европы, Африки и Азии.

Многолетними исследованиями коллектива лаборатории биохимии и биотехнологии совместно с другими специалистами Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН было убедительно показано, что многие виды растений Севера не уступают, а иногда и превосходят по содержанию биологически активных веществ своих южных «сородичей». Кроме того, успешно применяемые в Институте биологии современные методы сравнительной биохимии и молекулярной филогенетики позволяют обнаруживать искомые или близкие к ним по структуре соединения в других таксономических группах растений и тем самым найти замену некоторым официальным видам лекарственных растений, ставших недоступными в России.

В планируемой серии монографий авторы будут придерживаться изложения материала по унифицированной схеме: результаты широкого скрининга флоры европейского северо-востока России на содержание тех или иных групп биологически активных веществ, углубленные эколого-биологические и биохимические исследования перспективных видов, оценка ресурсных характеристик и возможностей заготовки в природных популяциях, необходимости интродукции в полевую культуру или введения в культуру клеток, результаты фармакологических исследований и исследований физиологической активности экстрактов и биологически активных веществ, полученных из растительных объектов.

Видам растений, имеющих большое лекарственное или пищевое значение, будут посвящены отдельные выпуски монографий.

В первой книге из этой серии «Растения – продуценты важнейших классов биологически активных веществ» изложена история изучения лекарственных растений Республики Коми, дана ботанико-географическая характеристика мест их произрастания, принципы и методы ботанического ресурсоведения, методология биохимических исследований растений, приведены данные о видовом разнообразии и характеристике видов лекарственных растений, произрастающих на территории Республики Коми, даны сведения об их распространении, продуктивности в природных популяциях, химическом составе, рациональных способах заготовки лекарственного сырья, а также применении в народной и научной медицине (Растения..., 2014).

Перед читателями – вторая книга из предлагаемой серии. Она посвящена пищевому растению – шнитт-луку, произрастающему в Республике Коми в диком виде и введенному в культуру. В ней представлены результаты многолетних фитохимических исследований растений этого вида по содержанию биологически активных веществ и микроэлементов, в том числе как источников стероидных гликозидов и селена, обуславливающих наибольший вклад в биологическую активность изучаемого вида, и показана перспектива использования шнитт-лука в восстановительной медицине и функциональном питании для улучшения обмена веществ и повышения антиоксидантного статуса организма человека. Полагаю, что книга представит интерес для специалистов и найдет позитивный отклик у широкого круга читателей.

*С.В. Дёгтева*  
доктор биологических наук,  
заведующая отделом флоры и растительности Севера

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире остро стоит проблема улучшения качества жизни людей и увеличения их профессионального долголетия. Главным фактором, наносящим непоправимый урон здоровью человека, является нарушение структуры и качества питания (Княжев и др., 1998; Тутельян, 2001; Тутельян и др., 2002; Essentials..., 2012). Для решения этой проблемы актуальна разработка лекарственных препаратов, биологически активных добавок (БАД) и продуктов функционального питания, содержащих эссенциальные микроэлементы, адаптогены и другие микронутриенты природного происхождения. Известно, что дефицит незаменимых микроэлементов в рационе приводит к характерным симптомам недостаточности и определенным биохимическим изменениям в тканях, которые могут быть предотвращены или устранены путем добавления необходимых элементов в пищу (Canser..., 2001). По данным ученых (Roberfroid, 1999, 2002; Тутельян и др., 2003), хронический дефицит биологически активных веществ создает предпосылки для развития почти 70% наиболее распространенных заболеваний, в том числе онкологических (Functional..., 2008).

Повышение качества жизни населения, напрямую влияющее на здоровье нации и демографическую ситуацию, представляет важный элемент государственной политики. Масштабные фармакологические исследования действия природных веществ различных классов, представленных в пище и БАД, проведенные в текущем столетии, позволили сформулировать концепцию фармаконутриентологии – фармакологии действия микронутриентов (Тутельян, Попова, 2002; Шабров и др., 2003; Гичев, Гичев, 2006), сформировать принципиально новое направление науки о питании – персонализированную нутрициологию, целью которой является создание оптимального рациона под конкретного человека в зависимости от его возраста, особенностей организма, состояния здоровья, условий труда и других факторов (Основы..., 2005; Государственная..., 2009; Тутельян, 2018).

С этой точки зрения большой интерес для исследований представляют пищевые растения рода *Allium* L., обладающие уникальным комплексом биологически активных веществ с широким спектром физиологического действия (Корневищные..., 1992; Голубев и др., 2003; Селютина, 2007; Биологически..., 2010). Многие лекарственные свойства луков связывают с присутствием в них веществ адаптогенной природы – стероидных гликози-

дов фураностанолового ряда (Kawashima et al., 1993; Comparison..., 2003; Structure..., 2013). Показано, что высокая антиоксидантная активность некоторых субстанций, полученных из луковых культур (Comparison..., 2003; Kim, Kim, 2006), обусловлена наличием селеносодержащих белков и витаминов Е и С (Effects..., 1996). Ингибирование роста опухолей и микробных клеток, кардиопротекторное действие некоторые авторы связывают с наличием в луке серосодержащих соединений и флавоноидов (Барабой, 1976; Antioxidative..., 2005; Флавоноиды..., 2013). Давно известны антицинготные свойства некоторых представителей этого рода. В официальной медицине существует набор препаратов, созданных на основе экстрактов из лука репчатого *Allium cepa* L. и чеснока *Allium sativum* L., благоприятно влияющих на моторику желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистую систему (Червяков и др., 1977; Лютомски, 1980; Машковский, 1984).

Согласно современным данным, на территории России и сопредельных государств произрастает 332 вида лука (Черепанов, 1995). В Республике Коми встречаются лишь три вида – лук угловатый (*Allium angulosum* L.), лук торчащий (*A. strictum* Schrad.) и шнитт-лук (*A. schoenoprasum* L.), который имеет широкий ареал и произрастает практически на всей территории республики. Однако, несмотря на широкое распространение и многовековое использование шнитт-лука в пищу человеком, его химический состав недостаточно хорошо изучен, а сведений о содержании в нем таких важных классов биологически активных веществ, как липиды, высшие жирные кислоты, недавно обнаруженные в некоторых представителях этого рода стероидные гликозиды, в научной литературе недостаточно. Мало внимания уделено и исследованию содержания макро- и микроэлементов в этом виде лука.

Известно, что уровень и характер накопления биологически активных веществ в растениях зависит от многих факторов – климатических условий региона выращивания, географического положения, экологических условий произрастания и культивирования, состава и свойств почвы, агротехнических приемов (Жазакова, 1978; Корневищные..., 1992; Тухватуллина, 2010). Учитывая обширность территории республики и широкое разнообразие ее физико-географических условий, можно ожидать большой изменчивости в содержании и компонентном составе биологически активных веществ. Первостепенное значение при этом имеет изучение динамики накопления биологически активных веществ и микронутриентов. Поэтому всестороннее и детальное изучение химического состава шнитт-лука, для которого рядом авторов была обнаружена высокая антиоксидантная (Steiner et al., 2004; Comparative..., 2011; Оценка..., 2014), цитотоксическая и противоопухолевая активность (Structure..., 2013), имеет важное теоретическое и практическое значение.

В монографии представлены результаты многолетних фитохимических исследований дикорастущих и культивируемых в Республике Коми растений *A. schoenoprasum* L. по содержанию и ком-

понентному составу важнейших групп биологически активных веществ и микроэлементов, динамике их накопления в растениях в различные фазы развития и влиянию эколого-географических условий произрастания на биохимические характеристики растений изучаемого вида. Исследована антиоксидантная и противоопухолевая активность экстрактов шнитт-лука. Изучен селеновый статус дикорастущих растений и разработаны способы его повышения в процессе выращивания растений этого вида в культуре и намечены пути создания на основе шнитт-лука новых продуктов функционального питания для профилактики сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, а также для коррекции в организме человека селенодефицита.

Исследования выполнены по теме НИР Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Разработка биокаталитических систем на основе ферментов, микроорганизмов и растительных клеток, их иммобилизованных форм и ассоциаций для переработки растительного сырья, получения биологически активных веществ, биотоплива, ремедиации загрязненных почв и очистки сточных вод» (Гр № АААА-А17-117121270025-1) при частичной финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН, проекты «Ресурсный и биотехнологический потенциал растений Урала и сопредельной территории европейского северо-востока России – продуцентов важнейших групп биологически активных веществ» (№ 12-И-4-2072), «Аккумулирующие свойства некоторых представителей рода *Allium* L. по отношению к селену и создание на их основе фармакологических композиций антиоксидантного и противоопухолевого действия» (№ 12-У-4-1016).

## Глава 1

# БОТАНИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТЕНИЙ РОДА *ALLIUM*

### 1.1. Род *Allium*: распространение и видовое разнообразие

Согласно современной классификации APG III (An update..., 2009), род *Allium* (Лук) относится к подсемейству Alliioideae (Луковые) семейства Amaryllidaceae (Амариллисовые). В списке растений для рода *Allium* (The Plant List for the genus *Allium*) числится 918 признанных видов (<http://www.theplantlist.org>). Основная часть их (около 500 видов) произрастает в северном полушарии (Stearn, 1992; Infragenetic..., 1992; Hanelt, Fritsch, 1994).

Род *Allium* объединяет многолетние травянистые растения с хорошо развитыми или почти неразвитыми луковичками, отличающимися резким специфическим запахом и вкусом (Казакова, 1978). Различают луковичные, луковично-корневищные и корневищные жизненные формы (Казакова, 1978; Черемушкина, 1985, 1993, 2004; Корневищные..., 1992; Юрьева, Кокорева, 1992). Растения луковичной формы имеют однолетнее стеблевое образование (донце) и развитые запасающие сочные чешуи (луковицы). Для них характерны сравнительно короткий вегетационный период, резкая и одновременная сменяемость корневой системы и надземной части. Растения луковично-корневищной формы имеют многолетнее стеблевое образование – корневище, выполняющее функции запасающего органа, к которому прикрепляются в разной степени развитые луковицы. Для них характерны продолжительный период вегетации, неодновременная сменяемость корневой системы и надземной части растений, отсутствие периода глубокого физиологического покоя. Различают виды со слабовыраженным корневищем и развитыми луковицами (лук алтайский – *A. altaicum* Pall., л. косой – *A. obliquum* L.), виды с хорошо развитым корневищем и слабовыраженными (черемша) и развитыми луковицами (л. поникающий, слизун – *Allium nutans* L.). У корневищных луков луковица отсутствует. Корневище большинства луков компактное (термин, предложенный Е.Л. Нухимовским, 1997) или короткое, эпи-гипогеегенное, в большинстве случаев выполняет функцию запаса питательных веществ. Интенсивное ветвление корневищных луков приводит к формированию дерновинных форм (л. двузубый – *A. bidentatum* Fischer ex Prokh. и л. многокорневой – *A. polyrhizum* Turcz. ex Prokh.). Длинные гипогеегенные корневища формируются очень редко (л. дернистый – *A. caes-*

*pitosum* Siev. ex Bong. & C.A. Mey) и только на подвижном субстрате (Черемужкина, 2004).

Все виды лука происходят из Северного полушария, зон умеренного теплого климата. Самое высокое видовое разнообразие лука отмечено в Турции, Иране и Афганистане. По данным шведского ботаника П. Вендельбо, только во флоре Ирана насчитывается более 130 видов (Wendelbo, 1969). В Европе произрастает около 180 видов, распространенных главным образом в Средиземноморском бассейне и на Кавказе. Для Центральной Азии (Монголия, Гималаи, Тибет, Тянь-Шань) известен 191 вид. Более 80 видов лука встречается в северных районах Китая. В Южной Азии, к которой относятся Индия, Пакистан, Бангладеш, Бутан, Непал, островные государства в Индийском океане – Шри-Ланка и Мальдивы, обнаружен 61 вид (Nayar et al., 1992). Во флоре Африки описано около 40 видов, встречающихся преимущественно в северной части континента, прилегающей к Средиземноморью. В Северной и Центральной Америке род *Allium* включает около 100 диких видов (McNeal, 1992; McNeal, Jacobsen, 2002). Сведений о наличии каких-либо видов лука в Австралии не имеется.

В сопредельных с Россией государствах наиболее богата луком флора Средней Азии, на территории которой произрастает около 200 видов (Введенский, 1935; Черепанов, 1995). На Кавказе насчитывается свыше 70 видов (Кудряшова, 1990, 1992), во флоре Сибири содержится 54 вида и три подвида (Фризен, 1988).

В Восточной Азии, особенно в Китае, встречаются богатые природные плантации л.-батуна, или татарки (*A. fistulosum* L.), зелень которого используется в пищу в качестве приправы, а также как лекарство в китайской медицине (потогонное, укрепляющее, болеутоляющее, средство против лихорадки, желудочно-кишечных заболеваний, при нарывах и переломах). Условия возделывания этой древней культуры в различных географических зонах Азии и Европы наложили свой отпечаток на вид в целом, в результате чего появилось несколько его форм. Настоящим экзотом в луковом семействе, благодаря своеобразной многоярусной архитектонике, является разновидность этого лука – л. многоярусный, или живородящий (*A. fistulosum* L. var. *viviparum* (Makino), syn. *A. proliferum* Schrad.), обладающий кроме пищевых и декоративных свойств превосходными лечебными качествами как противочинготное, витаминное, бактерицидное, улучшающее пищеварение средство.

Перечень растений, которых в древних китайских письменных источниках называют «драгоценностями в мире овощей», возглавляет л. клубненосный (*A. tuberosum* Roxb.). Ему приписывают исключительные оздоравливающие свойства благодаря содержащимся в нем витаминам и железу. Он является эндемиком Сибири и всего Китая. Горные районы Китая и Монголии считаются родиной л. ветвистого (*A. ramosum* L., syn. лук душистый – *A. odorum* L.), откуда кочевые племена распространили его по южным районам Алтая, горам Средней Азии, Западной и Восточной

Сибири. Он очень популярен и как культурное растение. В центральноазиатских регионах лук ветвистый составляет основу так называемых луковых степей, которые являются прекрасными пастбищами для скота. Помимо широко распространенных видов, введенных в культуру, во многих местах население продолжает употреблять в пищу и дикие виды. Особенно широко используются л. победный (*A. victorialis* L.) и л. медвежий (*A. ursinum* L.), известные под общим названием «черемша», а также близкие к культурным дикие виды, например, л. алтайский (*A. altaicum* Pall.) и л. Ошанина (*A. oschaninii* O. Fedtsch.) (Введенский, 1935).

Условия произрастания луков разнообразны – от полупустынной до альпийской и тундровой зон. Род *Allium* составляют виды преимущественно теплолюбивые, редко встречающиеся севернее 60° с.ш. На юге ареал ограничен тропиками. Широкое распространение луков связано с большим диапазоном приспособительных свойств, начиная от влаголюбивых лесных видов – лук медвежий и л. победный, и кончая типичными представителями пустынь: песчаных – л. каспийский (*A. caspium* (Pall) Vieb.) и глинистых – л. Лемана (*A. lehmannianum* Merckl.) (Казакова, 1978). Большинство видов лука – светолюбивые растения, предпочитающие хорошо освещенные открытые местообитания. Количество теневыносливых видов сравнительно невелико. Это растения, обитающие под пологом широколиственных и хвойно-широколиственных лесов (Черемушкина, 2004): л. мелкосетчатый (*A. microdictyon* Prokh.), л. горный (*A. montanum* F.E. Schmidt), л. охотский (*A. ochotense* Prokh.), л. странный (*A. paradoxum* (M. Bieb.) G.Don), или в тени скал – л. заравшанский (*A. sarawschanicum* Regel).

Культурные виды лука распространены во всех частях света. При этом внутри видов обособились их разновидности. К самым распространенным в культуре видам относится л. репчатый (*A. cepa* L.). Предполагают, что его родиной является Средняя Азия, где произрастают ближайšie к нему дикие виды: л. Ошанина, л. Вавилова (*A. vavilovii* M. Pop. et Vved.) и л. смешанный (*A. praemixtum* Vved.). Культурной разновидностью лука репчатого некоторые исследователи считают л. аскалонский, или шалот (*A. ascalonicum* L.). Вторым по значению представителем этого рода после лука репчатого является чеснок (*Allium sativum* L.), происходящий также из Средней Азии (Камелин, 1973). Именно чесноку род обязан своим названием *Allium* – так называли чеснок древние римляне. Довольно широко распространен в культуре л.-порей (*A. ampeloprasum* L. syn. *A. porrum* L.), родиной которого является Средиземноморье.

Число популяций луков уменьшается во многих областях из-за чрезмерного антропогенного воздействия на природу, неконтролируемого сбора в качестве пищевого и лекарственного растения, выпаса скота и сенокосения. И в то же время в последние годы находят новые, ранее неизвестные виды лука. Так, сравнительно недавно в окрестностях Красноярска был обнаружен новый вид лука (*A. monachorum* Stepanov) из подрода *Rhizirideum*, секции

*Reticulato-bulbosa*, имеющий диагностические особенности, отличающие его от родственных видов (Степанов, 2015).

В хозяйственных целях, однако, многолетние луки используются мало, несмотря на ряд ценных качеств, которыми они обладают. Многолетние луки устойчивы к морозу, прекрасно зимуют под снегом и при морозах без снежного покрова. Через несколько дней после таяния снега они развивают листья, ценные по химическому составу, причем в течение вегетационного периода можно получить два-три урожая. Например, урожай зеленой массы лука-батунна при двух-трехкратной срезке на почве среднего плодородия, без полива, при сумме годовых осадков 314 мм составляет 10-12 т/га (Булх, 1986). Во многих странах культура многолетнего лука представляет практический интерес. Первоначально луки использовали как пряные растения, возбуждающие аппетит. Значение луков для современного человека значительно шире и многообразнее. Средняя норма потребления лука на одного человека в год в различных областях значительно колеблется, но обычно не бывает меньше 6 кг (северные районы), в Средней Азии и Закавказье она составляет 14-17 кг (Жизнь..., 1982).

Среди луковых очень много красиво цветущих растений (Кокорева, Титова, 2007; Волкова, Моторина, 2010), но использование их в декоративном садоводстве ограничивает луковый или чесночный запах. Тем не менее, целый ряд видов нашел широкое применение в садах, парках и оранжереях.

Коллекцию луков Ботанического сада Института биологии (БС) можно считать одной из богатейших в Российской Федерации. Она насчитывает около 130 видов (Волкова, 2007; Волкова, Моторина, 2010) и предоставляет широкие возможности для исследования их химического состава с целью выявления наиболее перспективных видов.

## 1.2 Метаболиты растений рода *Allium* и их значение для человека

Потребительские качества луков как пищевых и лекарственных растений определяются качественным и количественным составом химических веществ. Средние значения содержания веществ у различных видов колеблются в довольно широком диапазоне и, как правило, являются отражением видовых особенностей. Кроме того, как отмечают авторы, в пределах вида химический состав лука непостоянен и зависит от места произрастания, фазы развития и возраста растений, происхождения интродуцента, технологии выращивания, числа срезов листьев, типа удобрений и других факторов (Казакова, 1978; Корневищные..., 1992; Тухватуллина, 2010).

Известно, что в химический состав луков, как у всех растений, входят первичные и вторичные метаболиты, а также макро- и микроэлементы. Первичные метаболиты принимают непосредственное участие в нормальном росте, развитии и репродукции. К ним относят, например, углеводы, липиды, белки. Вторичные

метаболиты длительное время рассматривали как балластные, ненужные для жизнедеятельности растений вещества. К настоящему времени накоплен большой фактический материал, который указывает на важную роль многих продуктов вторичного обмена как регуляторов роста и развития растительных организмов (Овчинников, 1987; Ковганко, Ахрем, 1990).

Понятие «первичных» и «вторичных» компонентов клетки было введено в 1891 г. немецким биологом Альбрехтом Косселем. К настоящему времени благодаря возникновению новых методов анализа и идентификации веществ уже известно более 100 000 индивидуальных соединений вторичного метаболизма. Вторичный метаболизм растений как особенность дифференцированных растительных клеток и тканей присущ только специализированным органам и приурочен к определённым фазам жизненного цикла (Лункер, 1979; Полевой, 1989; Основы..., 2014). Вторичные метаболиты – это соединения, образующиеся в результате каталитического действия специализированных белков на эндогенные вещества, принадлежащие организму-продуценту. Они обладают специфичностью на уровне семейства, рода, вида. Между первичным и вторичным обменом существует связь: как правило, предшественники вторичных метаболитов образуются в процессах первичного обмена, а многие продукты вторичного обмена участвуют в жизненно важных процессах роста и развития (Пасешниченко, 2001). Вторичные метаболиты, учитывая их многочисленность, относят к наиболее полезным с таксономической точки зрения химическим веществам.

В основу классификации вторичных метаболитов положен биогенетический принцип, что резко отличает ее от химической классификации. К основным классам веществ вторичного обмена растений относят алкалоиды, изопреноиды и фенольные соединения. Кроме этих основных групп, выделяют минорные классы вторичных соединений растительного происхождения: цианогенные гликозиды, серосодержащие гликозиды (тиогликозиды), растительные амины, полиацетилены, беталаины, тиофены. Некоторые авторы к веществам вторичного метаболизма относят также органические кислоты алифатического ряда, фитогормоны (Карабанов, 1977; Лункер, 1979; Пасешниченко, 2001).

В настоящее время в научной литературе существует несколько гипотез о роли вторичных метаболитов в растениях. Наиболее распространенной из них является гипотеза, основанная на их экологических функциях, т.е. на роли этих веществ в защите растения от действия биотических и абиотических факторов (Лункер, 1979; Носов, 1994). Показано, что многие вторичные метаболиты обладают аллелопатическими, фунгицидными, инсектицидными и бактерицидными свойствами, а также являются фитоалексинами (проявляют токсичные и ядовитые свойства по отношению к животным и рыбам), и веществами, подобными гормонам животных (фитоэкдистероиды – аналоги гормонов линьки насекомых и половых гормонов млекопитающих) (Пасешни-

ченко, 2001). Существует предположение, что вторичный обмен – это процесс детоксикации избыточных и ненужных соединений. Так, например, аминокислоты, которые в свободном виде являются токсичными, выполняют функцию азот-запасующего компонента и превращаются в алкалоиды. Кроме того, вторичный обмен имеет важную особенность: образовавшиеся продукты отделяются от протоплазмы и запасаются в метаболически неактивных центрах (вакуолях, клеточной стенке). Этот процесс получил название «метаболическая экскреция» (Лункер, 1979). Согласно другому предположению, вторичные метаболиты являются формой запасания или транспорта веществ (молекул или элементов). Например, гликозиды являются запасной формой сахаров, алкалоиды – азота (Гудвин, Мерсер, 1986; Носов, 1994).

С давних времен вещества вторичного обмена нашли широкое применение в медицине, фармакологии, ветеринарии и других областях. Растения, отличающиеся существенным накоплением тех или иных вторичных метаболитов, являются ценным сырьем для многих отраслей промышленности, богатейшим источником традиционных и новых лекарственных средств растительного происхождения. В современном арсенале лекарственных средств препараты растительного происхождения составляют 25-30%, а в некоторых фармакотерапевтических группах лекарственные средства, полученные из растений, достигают почти 70% (Растения..., 1975; Носов, 1994; Муравьева и др., 2002).

Чрезвычайно актуальной задачей в настоящее время является поиск и внедрение новых перспективных лекарственных растений, так как применение растительных средств для лечения и профилактики самых разнообразных заболеваний, как показала практика, имеет неоспоримые преимущества. Потенциал биологической активности лекарственных растений определяется содержанием в них комплекса активных веществ, которые при поступлении в организм животных и человека оказывают целебное действие.

Растения являются предпочтительным источником витаминов для человека, поскольку в этом случае практически исключается возможность передозировки и возникновения гипervитаминозов (Покровский, 1979). Минеральный комплекс лекарственных растений отличается хорошей сбалансированностью и наиболее благоприятным для организма человека соотношением основных компонентов вследствие того, что он прошел через своеобразный биологический фильтр. Получаемые из лекарственных растений настои и настойки зачастую влияют на организм гораздо мягче и с меньшим числом побочных реакций, обладая более сложным и многосторонним действием, чем выделенные из этих же лекарственных растений чистые вещества. Такая сбалансированность трудно достижима при создании искусственных смесей в связи с недостаточной изученностью физиологического значения всего многообразия синергетических и антагонистических взаимо-

отношений между многочисленными элементами, составляющими основу всего живого (Покровский, 1979; Гичев, 1998).

### 1.2.1 Углеводы

Основную часть сухого вещества луков составляют углеводы, являющиеся главными продуктами фотосинтеза и основным дыхательным материалом растений. В листьях разных видов количество сахаров колеблется от 0.3 до 5.1, а в луковицах – от 4.5 до 21.4% (Казакова, 1978). Показано, что в луковицах лука репчатого накопление этих веществ составляет от 2.5 до 14.3% сырого веса, или 60-65% в пересчете на сухое вещество (Шифрина, 1961).

Моносахариды в луках представлены в основном фруктозой и глюкозой, а также арабинозой, ксилозой, рибозой, галактозой и рамнозой (Sinha, Sanual, 1959; Ходжаева, Кондратенко, 1983). Среди дисахаридов преобладает сахароза, обнаружена раффиноза (Углеводы..., 1985). Характерным для представителей рода *Allium* является присутствие трисахаридов – изокестозы (1<sup>Фр</sup>-β-фруктофуранозилсахароза) и неокестозы (6<sup>ГЛ</sup>-β-фруктофуранозилсахароза), а также полисахаридов типа инулина – высокомолекулярных соединений из гомологического ряда фруктозанов, содержащих цепь из 30-34 D-фруктозановых единиц (Gibbs, 1974). Кроме того, в луках были обнаружены пектиновые вещества, в гидролизатах которых присутствуют галактуроновая кислота, галактоза, арабиноза, глюкоза, ксилоза и рамноза (Ходжаева, Исмаилов, 1979).

### 1.2.2 Азот и азотсодержащие вещества

Азот играет исключительно важную роль в процессах обмена веществ в растении. Он входит в состав белков, являющихся главной составной частью цитоплазмы и ядра клеток, в состав нуклеиновых кислот, хлорофилла, ферментов, фосфатидов, большинства витаминов и других органических азотистых соединений. Сведения о содержании азотистых веществ в луках в научной литературе довольно немногочисленны. Наиболее изученным видом с этой точки зрения является лук репчатый. По данным Г.В. Деловой (1959), в его свежих листьях содержится 3.7-4.5, а в луковице – 2.8-4.5% азотистых веществ. По другим сведениям доля азотистых веществ в луковице колеблется от 1.0 до 2.2%, при этом собственно белковый азот составляет от 50 до 70, а в листьях – 70% общего азота (Шифрина, 1961). Белковые вещества представлены в основном солерастворимой фракцией (около 70% суммы азота луковиц), спирто- и щелочнорастворимые белки составляют 6 и 15% соответственно (Казакова, Луковникова, 1959).

Аминокислоты и пептиды имеют большое значение для антиоксидантной защиты клеток. Отдельные низкомолекулярные антиоксиданты являются ловушкой свободных радикалов сами по себе, а в цепочке окислительно-восстановительных превращений приводят к образованию менее активных форм радикалов. К таким антиоксидантам относят триптофан, фенилаланин и тиро-

зин, имеющие ароматическое кольцо, одну или несколько гидроксильных групп. Важнейшим свойством этих компонентов является способность к обратимому окислению, т.е. переходу из фенольных форм в хиноидные, и восстановлению последних (Лобарева и др., 1995).

В семенах л. красного (*A. cepa* var. *tropea*) методом аналитической высокоэффективной жидкостной хроматографии обнаружено 16 протеиногенных кислот, в том числе восемь эссенциальных (лейцин, изолейцин, лизин, цистин, фенилаланин, треонин, гистидин и валин), а также 14 свободных аминокислот. Кроме того, в них присутствуют производные цистеина, регулярное потребление которых в пищу может уменьшить риск возникновения некоторых раковых образований. А соединение S-пропилмеркаптоцистеин в луке репчатом было обнаружено впервые (Dini et al., 2008).

### 1.2.3 Липиды

Одним из основных продуктов биосинтеза растений являются липиды, которые в зависимости от состава и структуры компонентов обладают разного рода биологической активностью и разной степенью изменчивости, зависящей от систематического и экологического положения организма (Юровицкий, Сидоров, 1993). Существует мнение, что липиды растений служат индикаторами изменений в окружающей среде в результате антропогенного воздействия (Minkkinen et al., 1988; Seasonal..., 1994; Розенцвет и др., 1999). Устойчивость живых организмов к внешнему воздействию во многом зависит от способности организма к адапционным перестройкам. На клеточном уровне адапционные возможности организма связывают с состоянием клеточных мембран, липиды которых должны находиться в жидком агрегатном состоянии, необходимом для их нормального функционирования. Являясь одним из основных компонентов биологических мембран, липиды играют важную роль в том числе в регуляции роста клеток, реакциях биосинтеза, процессах адаптации, участвуя в транспортных, восстановительных, эмульгирующих, иммунологических, энергетических процессах организма. Липиды подразделяют на нейтральные (ацилглицерины, воска – эфиры жирных кислот и моногидроксипиртов, стерины и их эфиры), полярные (фосфо-, гликоли и сфинголипиды) и оксипирины, включающие простагландины, тромбоксаны, лейкотриены и липоксины (Васьковский, 1997; Филиппова, Смолич, 2004). Липиды лекарственных растений, в том числе и растений рода *Allium*, составляют мало изученную группу биологически активных веществ. В зависимости от вида лука содержание общих липидов составляет от 0.15 до 0.42% сырой массы (Дейнеко, 1985). В луковицах их содержание колеблется от 0.048 до 0.31% (Biologically..., 1979). Наиболее богаты липидами семена луков. Например, семена различных сортов л. репчатого и л.-порья содержат 25.3-30.2 и 14.5-16.9% сухой массы соответственно. Анализ различных фракций липидов луковичек чеснока,

выращиваемого в Индии, показал, что доля нейтральных липидов (НЛ) в общих липидах составляет 62.6%, гликолипидов – 14.0, фосфолипидов – 23.4% (Kamanna, Chandrasekhara, 1980).

Триацилглицерины – один из важнейших по своим биологическим свойствам класс соединений, входящих в состав ЛН, являясь источником высших жирных кислот (ВЖК) различного строения, в том числе и ненасыщенных. Одной из самых распространенных мононенасыщенных кислот является олеиновая (C18:1), которую относят к  $\omega$ -9-ряду. Линолеовую (C18:2,  $\omega$ -6),  $\alpha$ -линоленовую (C18:3,  $\omega$ -3),  $\gamma$ -линоленовую (C18:3,  $\omega$ -6) и арахидоновую (C20:4,  $\omega$ -6) кислоты относят к полиненасыщенным высшим жирным кислотам (ПНЖК). Они не синтезируются в организме животных и человека, но необходимы для его нормального развития и могут поступать только с пищей. Поэтому их относят к незаменимым или эссенциальным ВЖК и иногда называют витамином F. В настоящее время известно более 200 жирных кислот, отличающихся по степени и характеру разветвления углеродной цепи, числу и положению двойных связей, природе и количеству других функциональных групп, а также по длине углеродной цепи. Жирные кислоты, входящие в состав липидов высших растений и животных, как правило, имеют четное число углеродных атомов, причем преобладают кислоты с 16-20 атомами углерода в цепи (Балашова, 1977).

Интерес к препаратам растительного или животного происхождения, содержащим ПНЖК, возник в результате исследований, которые показали, что их систематический прием с пищей (в том числе в составе БАД), даже с высоким содержанием животных белков и жира, не сопровождается атеросклеротическими изменениями артерий. Наоборот, применение экзогенных ПНЖК приводит к снижению заболеваний сердечно-сосудистой системы, в том числе атеросклерозом, артериальной гипертензией (Гичев, 1998; Гичев, Гичев, 2001). Ткани человека и животных, в отличие от растительных, обладают ограниченной способностью превращать насыщенные жирные кислоты в ненасыщенные и полиненасыщенные. Однако эти кислоты обязательно должны присутствовать в пище, так как они являются предшественниками эйкозаноидных ВЖК (с 20 углеродными атомами), которые образуют в организме ряд биологически активных веществ, обладающих многообразным влиянием на метаболизм (Марри и др., 1993; Шабров и др., 2003). Полученные с пищей ПНЖК включаются в липидный бислой клеточных мембран, регулируя их микровязкость, проницаемость, электрические свойства, снижая возбудимость, формируя соответствующее липидное окружение мембранных белков и ферментов. ПНЖК как антиатеросклеротический фактор способствуют метаболизму холестерина в печени и его элиминированию из организма, а также выступают как ингибиторы фермента (ГМГ-редуктаза), контролирующего биосинтез холестерина (Шабров и др., 2003).

### 1.2.4 Жирные кислоты

Жи́рнокислотный состав луков представлен в основном молекулами с цепями  $C_{10}$ - $C_{32}$ , причем преобладают кислоты с четным числом углеродных атомов (Дейнеко, 1985). Главными кислотами липидов луков являются непредельные олеиновая, линолевая и линоленовая, общее количество которых составляет 72-80% суммы основных кислот. Среди них преобладает линолевая кислота, содержание которой по разным данным колеблется от 30 до 62%. Насыщенные кислоты представлены главным образом пальмитиновой, накапливающейся в количестве 14-25%. Такое соотношение кислот является характерным для рода *Allium*, при этом компонентный и количественный состав минорных кислот является специфичным для разных видов (Tsiaganis et al., 2006). Установлено, что в листьях лука-порея значительная часть жирных кислот представлена молекулами с длиной цепи  $C_{20}$ - $C_{32}$ , причем преобладают кислоты с четным числом атомов углерода. В паренхиме и хлоропластах листьев лука-порея значительная часть представлена кислотами, содержащими от восьми до 32 углеродных атомов (0.1-36.9%). Кислоты с числом углеродных атомов до  $C_{22}$  составляли 95% общей суммы кислот (Cassange, Cezard, 1972).

В фосфолипидах, выделенных из л. репчатого, были обнаружены пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты, которые составляли основную долю суммы всех кислот (Smoczkiwiczowa et al., 1981). Стеариновая, арахидовая и линоленовая кислоты были обнаружены в малых количествах. Большинство авторов сделали вывод, что качественный состав липидных фракций лука достоверно зависит от сорта и фазы развития растений, а количественное содержание – от исследуемого органа и сорта (Дейнеко, 1985).

Простагландины – циклические ненасыщенные гидроксильированные жирные кислоты, которые являются производными гипотетической простановой (7-(2-октил-циклопентил)-гептановой) кислоты, обладают необычайно высокой биологической активностью, играют исключительно важную роль в работе кровеносной системы и репродуктивной функции, принимают участие в развитии воспалительных процессов и иммунного ответа (Варфоломеев, 1996). Впервые простагландины были выделены из луковиц лука репчатого. Соединение липидной природы было идентифицировано (Attrep et al., 1973; Separation..., 1980) как 15-окси-9-кетопроста-10,13-диеновая кислота (простагландин  $A_1$ ). Позже в составе липидов луковиц чеснока, л. репчатого, а также дикорастущих видов л. желтого (*A. flavium* L.) и л. причесочного (*A. scorodoprasum* L.) были найдены простагландины  $A_1$ , B, и F (Biologically..., 1979).

### 1.2.5 Эфирные масла

Специфический вкус и запах всему луковому растению придают эфирные масла. Они имеют сложную структуру и могут содержать до нескольких сотен соединений различного строения, обла-

дающих разными фармакологическими свойствами, в том числе антимикробными, антиастматическими, противосклеротическими (Allium..., 1996). Содержание эфирных масел в растениях рода *Allium* составляет от 15 до 60 мг в 100 г сырого вещества. У острых сортов л. репчатого, л. многоярусного и чеснока содержание эфирных масел выше, чем у сладких сортов л. репчатого, многолетних видов и л.-пороя (Казакова, 1978). По содержанию эфирных масел (от 21 до 26 мг на 100 г зеленых листьев) шнитт-лук сопоставим с л. репчатым. Для л.-батуна этот показатель составляет всего 5-8 мг на 100 г зеленых листьев.

Эфирные масла растений рода *Allium* представляют собой сложные смеси, из которых около 20 компонентов идентифицированы как серосодержащие соединения – моно-, ди-, три- и тетрасульфиды линейного и циклического строения, тиофен и его производные (Сравнительное..., 2008). К настоящему времени известно, что эфирные масла луков в основном представлены метил-пропилдисульфидом, пропенил-пропилдисульфидом, аллилмоносουλфидом, метилдисульфидом (Poulsen, 1995). Например, в состав эфирных масел чеснока входят такие сульфиды, как диаллилдисульфид (до 60% общего содержания сульфидов), диаллилтрисульфид (20%), до 6% аллилпропилсульфида (Муравьева и др., 2002). В луковицах чеснока содержатся 1-пропенил-аллил-, аллил-1-пропенил-, метил-1-пропил- и 1-пропил-метилтиосульфаты. Эфирные масла содержат в свободном виде летучее соединение аллицин, представляющее собой моносулфоксид диаллилдисульфида. Луковицы чеснока содержат преобладающее по сравнению с другими изученными видами рода *Allium* количество аллицина – 0.36-0.53% сырой массы (Iberl et al., 1990). В луковицах чеснока, лука туберозного, л.-батуна обнаружена серосодержащая аминокислота аллиин (+)-S-аллил-L-цистеинсульфоксид, которая при повреждении луковиц под действием фермента аллииназы через образование промежуточной сульфенильной кислоты превращается в диаллилтиосульфид (аллицин) (рис. 1). Его содержание достигает 0.3% свежей массы растения, или около 65-75% общего количества серосодержащих веществ (Lawson et al., 1991; Mei-chin, Wen-shen, 1998). **Аллицин – сульфоксид, который образуется при механическом разрушении клеток чеснока, обладающий очень сильным антибактериальным действием, даже при разведении от 1:85 000 до 1:125 000 он губительно действует на грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы, такие как стафилококк, стрептококк, дизентерийная палочка, сальмонелла и некоторые другие (Биологически..., 1994;**

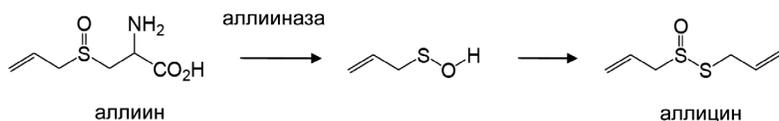


Рис. 1. Схема образования аллицина при повреждении луковиц чеснока (Benkeblia, Lanzotti, 2007).

Intake..., 2001; Нефедова, Киселева, 2004). Кроме аллицина в различных видах лука содержатся S-метилцистеинсульфоксид и S-пропилцистеинсульфоксид, которые под действием ферментов превращаются в соответствующие тиосульфиды, обуславливающие биологическую активность компонентов эфирного масла этих растений (*Allium...*, 1996; Benkeblia, Lanzotti, 2007). Из шнитт-лука японскими исследователями извлечены два дисульфида, структура которых идентифицирована ими как метилпентилдисульфид и пентилгидросульфид (Kameoka, Hashimoto, 1983).

Эфирные масла чеснока и некоторых видов лука обладают выраженным гипохолестеринемическим действием (Gupta et al., 1966; Augusti, 1977; Lanzotti, 2012). При внутривенном введении экстракта из л. репчатого, содержащего эфирные масла, кроликам и крысам с экспериментальным аллоксановым диабетом наблюдался выраженный гипогликемический эффект (Galal, Gawad, 1965). Кроме того, эфирные масла л. репчатого входят в состав мази, рекомендованной для лечения мокнущей экземы (Дейнеко, 1985). Содержание эфирного масла в луке чрезвычайно изменчиво и в большой степени зависит от условий выращивания, погодных условий, степени зрелости луковицы и продолжительности ее хранения (Шифрина, 1955, 1961). Вместе с тем, эфирные масла большинства произрастающих на территории России видов лука практически не изучены (Селютина, 2007).

Летучие фитοорганические вещества (ЛФОВ), в том числе компоненты эфирных масел, образуемые растениями, убивающие или подавляющие рост и развитие бактерий, микроскопических грибов, простейших, играющие важную роль в иммунитете растений и во взаимоотношениях организмов в биогеоценозах – один из важнейших классов биологически активных веществ рода *Allium*. Они стимулируют в поврежденных тканях процессы регенерации, очищение ран и их заживление. Самым сильным биологическим действием обладают острые сорта л. репчатого (Зелепуха, 1973). ЛФОВ содержатся в различных частях лука, но в области донца луковицы их концентрация значительно больше, чем в листьях. Высокая эффективность луков при лечении многочисленных непохожих по своей природе заболеваний объясняется прежде всего наличием в нём большого количества ЛФОВ. Кроме того, они повышают иммунитет организма человека, являясь в то же время одним из факторов естественного иммунитета растений (Зелепуха, 1973; Гродзинский, 1986).

### 1.2.6 Фенольные соединения

Фенольные вещества растений рода *Allium* представлены комплексом простых фенолов, фенолкарбоновых кислот, флавоноидов и кумаринов (Георгиевский и др., 1990; Селютина, 2007; Левон и др., 2009). В чешуях л. репчатого были обнаружены простые фенолы: флороглюцин в свободном виде и пирокатехин (Барабой, 1976; Муравьева, 1978). Из фенольных кислот в листьях некоторых видов *Allium* содержатся феруловая, синаповая, кофейная

и хлорогеновая кислоты (Poulsen, 1995), а в чешуе л. репчатого – протокатеховая и пирокатехиновая кислоты (Бандюкова, Шинкаренко, 1967). В 70%-ных этанольных экстрактах шнитт-лука были обнаружены п-кумаровая (8.50 мкг/мл), феруловая (37.16 мкг/мл), синаповая и галловая кислоты (8.45 мкг/мл) (Phenolic..., 2011; Chemical..., 2012; Allium..., 2018).

Наиболее многочисленной группой как водорастворимых, так и липофильных природных фенольных соединений являются флавоноиды. Они играют важную роль в растительном метаболизме и очень широко распространены в высших растениях. Флавоноиды принимают участие в фотосинтезе, образовании лигнина, в качестве защитных агентов в патогенезе болезней растений, вовлечены в регуляцию процессов прорастания семян, а также пролиферации и отмирания клеток удлиняющихся растущих частей растений. Наиболее хорошо изучен состав флавоноидов лука репчатого. Сумма флавоноидов (в пересчете на рутин) для разных сортов л. репчатого составляет 0.62-0.98% массы абсолютно сухого вещества (Нефедова, Киселева, 2004). В компонентном составе преобладают 3, 4'-дигликозид и 4'-моногликозид кверцетина (85% от общего количества флавоноидов), производные изорамнетина и кемпферола. В воздушно-сухой массе чешуй лука репчатого было обнаружено 2% кверцетина и его гликозидов. Препараты из шелухи, включающей эти флавоноиды, снижают уровень холестерина в крови при экспериментальной гиперхолестеринемии (Лисевичкая и др., 1966). Исследование других видов лука показало, что содержание флавоноидов в надземной части растений составляет 1.8-9.2 мг/г сухой массы (Минаева, 1978). Листья корневищных луков, интродуцированных в Центральный сибирский ботанический сад, накапливают 0.13-2.72% флавоноидов, причем наибольшим количеством флавонол-гликозидов (2.02-2.72%) отличается *A. schoenoprasum* (Высочина, Днепровский, 1985). Установлено, что для луков характерны такие флавонолы, как кемпферол, кверцетин, изорамнетин, а также их моно-, ди- и тригликозиды (Skrzypczakowa, 1967; Бандюкова, Шинкаренко, 1967; Bate-Smith, 1968; Бандюкова, Аванесов, 1975; Allium..., 2018).

Многие флавоноиды – пигменты, придающие разнообразную окраску растительным тканям, которая имеет большое значение в жизни растений, так как служит средством привлечения насекомых для опыления и травоядных млекопитающих для распространения семян. Наиболее существенная роль в этом принадлежит антоцианам – веществам, определяющим красную, синюю, фиолетовую окраску цветов (Гудвин, Мерсер, 1986; Кретович, 1986). Эти соединения обладают Р-витаминной активностью, сильным бактерицидным действием, способны связывать свободные радикалы и соли тяжелых металлов. Окрашенные сорта л. репчатого содержат антоцианы, количество которых варьирует в зависимости от сорта, условий произрастания растения, времени сбора лука (Зелепуха, 1973). Установлено, что в луковицах *A. cepa* var. *ascalonicum* Backer и *A. × wakegi* Araki доминирующим антоцианом

является цианидин (Arifin et al., 1999). В меньших количествах в луковицах содержится пеонидин, а другие антоцианы присутствуют лишь в следовых количествах.

### 1.2.7 Витамины

Луки традиционно являются источником витаминов, которые абсолютно необходимы для нормальной жизнедеятельности любого организма и выполняют в нем непосредственно или в составе более сложных соединений каталитические и регуляторные функции (Филиппович, 1999).

Одним из ценных свойств лука является высокое содержание аскорбиновой кислоты – наиболее важного для человека водорастворимого витамина. В листьях и луковицах л. победного накапливается до 730 мг% этого витамина (Уварова, 2009). В целом в разных видах лука содержание аскорбиновой кислоты колеблется от 27 до 722 мг% (Селютина, 2007). Как правило, в дикорастущих видах накапливается значительно больше витамина С, чем в широко используемых культивируемых видах л. репчатого и л.-пороя. Для многолетних видов наблюдается следующая закономерность: при продвижении с севера на юг содержание аскорбиновой кислоты в листьях этих видов уменьшается. Автором было сделано предположение, что низкие температуры и длинный световой день в северных районах создают благоприятные условия для накопления витамина С (Казакова, 1978). Аскорбиновая кислота – важный компонент антиоксидантной системы, ответственной за трансформацию перекиси водорода (Noctor, Foyer, 1998). Из всех известных антиоксидантов витамин С оказывает самое разностороннее действие на сердечно-сосудистую систему. Высокий уровень аскорбиновой кислоты в плазме значительно снижает риск артериальной гипертензии (Ness et al., 1997), увеличивает сопротивляемость организма к инфекционным заболеваниям, воздействию токсических веществ, перегреванию, охлаждению и кислородному голоданию (Егорушкин, 1998).

### 1.2.8 Стероидные гликозиды

Стероидные гликозиды (СГ) относятся к большой группе веществ гликозидной природы, получивших название «сапонины», обладающих способностью при растворении в воде образовывать стойкую пену (Строение..., 1987; Васильева, Пасешниченко, 2000). Большинство представителей этой группы имеют высокую биологическую активность, которая обуславливает лечебное действие и, соответственно, лекарственное применение таких известных биостимуляторов, как женьшень, солодка, аралия. СГ – физиологически активные соединения, неуглеводная часть которых (генин) представляет собой  $C_{27}$ -стероиды с метаболически измененной цепью у 17-го углеродного атома (рис. 2). Эти соединения широко распространены в растительном мире. Наиболее часто они встречаются в растениях, принадлежащих семействам *Asparaginaceae*, *Alliaceae*, *Dioscoreaceae*, *Scrophulariaceae*, *Zigophyllaceae*.

ае, где могут накапливаться в значительных количествах (Пасешниченко, Гусева, 1975; Васильева, Пасешниченко, 2000). Одним из наиболее часто встречающихся в растениях генином является диосгенин, который служит источником для производства лекарственных препаратов стероидной природы (Содержание..., 1985).

Различают две основные группы СГ – спиростаноловые и фуростаноловые. Гликозиды спиростанолового ряда содержат спирокетальную группировку, состоящую из двух кислородсодержащих колец E и F (рис. 2, I). У гликозидов фуростанолового ряда кольцо F разомкнуто и в положении С-26 присоединена молекула D-глюкопиранозы (рис. 2, II). В свободном виде генины фуростаноловых гликозидов не встречаются, поскольку при отщеплении остатка D-глюкозы от С-26 атома углерода происходит замыкание цикла в боковой цепи с образованием спиростаноловой структуры.

К настоящему времени известно, что СГ, найденные в растениях, присутствуют в них в различных формах и могут быть локализованы в разных органах. При этом спиростаноловые гликозиды накапливаются преимущественно в запасящих органах (корневище, семена), в то время как фуростаноловые гликозиды – в надземных ассимилирующих органах (стебель, листья) (Васильева, Пасешниченко, 2000). Различие в строении обуславливает отличия в биологической активности. Характерной особенностью биологического действия спиростаноловых сапонинов является их способность к образованию комплексов со стеринами, вследствие чего они способны к разрушению клеточных мембран, гемолизу эритроцитов. Этим же объясняются их гипохолестеринемические свойства, которые нашли применение в медицине для лечения атеросклероза и заболеваний сердечно-сосудистой системы. Наличие глюкозы на неполярном конце молекулы олигофуранозида лишает её детергентных свойств. Вследствие этого фуростаноловые гликозиды являются слабыми гемолитиками и не способны давать комплексы со стеринами. Поэтому, как правило, спиростаноловые гликозиды намного более активны, чем их фуростаноловые аналоги (Семенов, 2000), и характеризуются более выраженным противоопухолевым и противовоспалительным действием (Исследование..., 1992). Для СГ была показана антиоксидантная

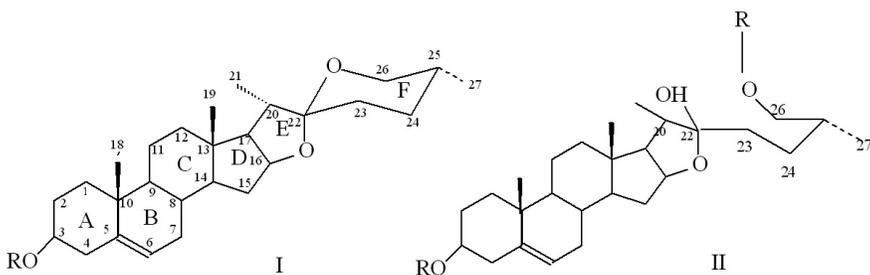


Рис. 2. Общие формулы спиростаноловых (I) и фуростаноловых (II) СГ (R – углеводный остаток).

активность, причем во всех случаях фурустаноловые гликозиды были более активны, чем спиростаноловые (Васильева, Пасешниченко, 1999). Интересно действие СГ на репродуктивную функцию человека и животных. Если фурустаноловые гликозиды обладают половостимулирующим свойством (Васильева, Пасешниченко, 1995), то спиростаноловые оказывают контрацептивное действие (Контрацептивная..., 1988; Бойкова и др., 1990). Так, выпускаемый болгарской фармацевтической компанией Sopharma лекарственный препарат «Трибестан» является оригинальным негормональным препаратом, обладающим половостимулирующим действием. Он представляет активную субстанцию из надземной части *Tribulus terrestris* L. (якорцы стелющиеся), содержащую стероидные сапонины фурустанолового типа, среди которых преобладает протодиосцин. Более 25 лет он успешно применяется во многих странах мира (Болгария, США, ЮАР, Сингапур и др.) при лечении мужского бесплодия, хронического простатита и эректильной дисфункции (Clinical..., 1982). **Зарегистрирован он и в «Регистре лекарственных средств РФ».**

Роль стероидных сапонинов в растениях окончательно не выяснена. Уже давно в литературе обсуждается их значение как защитных факторов растений. В результате многочисленных исследований было показано, что спиростаноловые гликозиды проявляют фунгицидные и антимикробные свойства (Химия..., 1986; Строеие..., 1987), способствуют устойчивости растений к фитопатогенным микроорганизмам (Изучение..., 1977), обладают аллелопатическими свойствами, играя определенную роль во взаимоотношениях между растениями (Ахов и др., 2000). Известны спиростаноловые гликозиды с сильным антифидантным действием на насекомых-фитофагов (Ковганко, Ахрем, 1990). Предполагается, что экологическое значение стероидных сапонинов фурустанолового ряда определяется в первую очередь их горьким вкусом. При этом горький вкус растений обычно довольно эффективно препятствует их поеданию животными (Ковганко, Ахрем, 1990). Известно, что СГ синтезируются в листьях растения в виде фурустанозидов. Предполагают, что фурустаноловая структура является неактивной транспортной формой этих соединений для перемещения к местам накопления (Носов, 1994; Семенов, 2000). Кроме того, фурустаноловые гликозиды можно рассматривать как природные адаптогены, поскольку они обладают свойством стимулировать рост и иммунитет растений. Были обнаружены адаптогенные свойства СГ фурустанолового ряда при их действии на паразитических нематод в растениях (Адаптогенные..., 1995). Экспериментально было показано, что в результате обработки семян растворами фурустаноловых гликозидов значительно повышаются их всхожесть, скорость прорастания, адаптация растений к стрессовым условиям окружающей среды, устойчивость к болезням (Защитное..., 1998; Стероидные..., 2009).

Фармакологические свойства СГ нашли применение в медицинской практике. Широко известны препараты «Диоспонин» и

«Полиспонин» на основе сухих очищенных спиртовых экстрактов корневищ с корнями диоскореи кавказской (*Dioscorea caucasica* Lipsky) и диоскореи nipпонской (*Dioscorea nipponica* Marino), действующим началом которых являются водорастворимые сапонины, оказывающие противосклеротическое и гипохолестеринемическое действие и применяющиеся для лечения гипертонии и атеросклероза (Диоспонин..., 1961; Десков и др., 1976).

Впервые в луках СГ были обнаружены Маркером с сотр., которые в 1943 г. выделили из дикого лука (*A. tricoccum* Aiton) сапогенин тигогенин, что послужило толчком к исследованиям растений рода *Allium* на содержание СГ (Sterols..., 1943). Хотя ранние работы по поиску сапонинсодержащих растений основывались на таких малоинформативных тестах, как определение гемолитического и пенообразовательного индекса, тем не менее, они позволили выявить большую распространенность СГ среди представителей рода *Allium*. Из 32 видов *Allium* из коллекции ВИЛАР в 12 были обнаружены СГ (Четверикова и др., 1959). Также они были обнаружены в восьми видах рода *Allium*, культивируемых в Ботаническом саду АН Молдавской ССР (Кинтя, Лазурьевский, 1979) и в 22 из 29 исследованных видов из флоры Грузии (Эристави, 1977).

Благодаря развитию хроматографии и инструментальных методов анализа природных соединений в 70-е гг. прошлого столетия наметился существенный прогресс в выделении СГ из многокомпонентных смесей, в виде которых они присутствуют в растениях, и установлении их строения. На сегодняшний день стероидные сапонины и их генины обнаружены в 46 видах *Allium* (табл. 1). При этом из луков выделено 58 спиро- и 47 фураностаноловых гликозидов. В состав углеводных цепей этих соединений входят D-глюкоза, D-ксилоза, D-галактоза, L-рамноза и L-арабиноза. Кроме гликозидов, из разных видов лука изолировано 29 генинов, самым распространенным из которых является диосгенин, найденный в 18 видах. С точки зрения поиска сырья, богатого диосгенином, представляют интерес л. темнофиолетовый (*A. fuscoviola-ceum* Fomin) и л.-слизун, содержащие 2.1 и 2.3% этого генина соответственно (Дейнеко, 1985; Стероиды..., 1990). Результаты исследований показали, что эти соединения накапливаются в подземных органах, цветочных корзинках и семенах луков. Листья и цветоносные побеги в большинстве своем содержат лишь следовые количества гликозидов и сапогенинов. Вероятнее всего, можно ожидать большей аккумуляции свободных сапогенинов в подземных частях, а гликозидов – в репродуктивных органах (Стероиды..., 1990).

Впервые из л. Шуберта (*A. schubertii* Zuss.) были выделены холестановые гликозиды (Kawashima et al., 1993), гораздо менее распространенные среди видов *Allium*. К настоящему времени они обнаружены в 11 видах лука (табл. 1), из которых было выделено и идентифицировано восемь индивидуальных соединений (Lanzotti, 2005). Агликоном большинства холестановых гликозидов являлся

Таблица 1

Виды рода *Allium*, содержащие стероидные гликозиды и их генины\*

Вид	Генины	Спиростано- ловые гликозиды	Фуростано- ловые гликозиды	Холестано- новые гликозиды
<i>A. affine</i> Ledeb.	+	—	—	—
<i>A. aflatanense</i> B. Fedtsch.	—	+	—	+
<i>A. albanum</i> A. Crossh	+	—	—	—
<i>A. ampeloprasum</i> L.	—	+	+	+
<i>A. angulosum</i> L.	+	—	—	—
<i>A. ascalonicum</i> L.	—	—	+	—
<i>A. atrovioleaceum</i> Boiss.	+	+	—	—
<i>A. cepa</i> L.	+	+	+	—
<i>A. cernuum</i> Roth.	+	—	—	—
<i>A. chinense</i> G. Don.	—	+	+	—
<i>A. cristophii</i> Trautv.	—	+	+	+
<i>A. cyrillii</i> Ten.	—	+	—	—
<i>A. elburzense</i> Wendelbo	—	+	+	—
<i>A. erubescens</i> K. Koch	+	+	—	—
<i>A. fistulosum</i> L.	—	+	+	—
<i>A. flavum</i> L.	—	+	—	—
<i>A. fuscovioleaceum</i> Fomin	+	—	—	—
<i>A. giganteum</i> Regel	+	+	+	+
<i>A. gramineum</i> K. Koch	+	+	—	—
<i>A. jesdianum</i> Boiss. et Buhse	—	+	—	+
<i>A. karataviense</i> Regel	+	+	+	—
<i>A. Jeucanthum</i> K.Koch	+	+	—	—
<i>A. macleanii</i> Baker	—	+	—	+
<i>A. macrostemon</i> Bunge	+	+	+	—
<i>A. minutiflorum</i> Regel	+	+	+	—
<i>A. narcissiflorum</i> Vill.	+	+	+	—
<i>A. nigrum</i> L.	—	+	—	+
<i>A. nutans</i> L.	+	+	+	—
<i>A. ostrowskianum</i> Regel	—	+	+	+
<i>A. paniculatum</i> L.	—	—	+	—
<i>A. rubellum</i> M. Bieb.	+	+	—	—
<i>A. sativum</i> L.	—	+	+	+
<i>A. schoenoprasum</i> L.	—	+	+	—
<i>A. schubertii</i> Zucc.	—	+	+	+
<i>A. senescens</i> L.	—	+	—	—
<i>A. sphaerocephalon</i> L.	—	+	+	—
<i>A. stipitatum</i> Regel	+	+	+	—
<i>A. suworowii</i> Regel	+	+	—	—
<i>A. tricoccum</i> Aiton	+	—	—	—
<i>A. triquetrum</i> L.	—	—	+	—
<i>A. tuberosum</i> Rottler ex Spreng.	—	+	+	+
<i>A. turcomanicum</i> Regel	+	—	+	—
<i>A. ursinum</i> L.	—	+	—	—
<i>A. vineale</i> L.	+	+	—	—
<i>A. waldsteinii</i> G. Don fil.	+	+	—	—
<i>A. wallichii</i> Kunth	+	—	—	—

\* Таблица составлена по данным (Стероиды..., 1990; Lanzotti, 2005, 2012; Steroidal..., 2006; Cytotoxic..., 2008; Spirostane..., 2011; Строение..., 2011, 2012; Толкачев и др., 2012; Structure..., 2013; Cytotoxic..., 2014).

полигидроксилированный холестерин. В состав углеводной части молекулы входят D-галактоза, D-глюкоза и L-рамноза.

СГ, выделенные из растений рода *Allium*, обладали спазмолитическим и антиишемическим действием (Anti-ischemia..., 2010), проявляли инсектицидную, противораковую и цитотоксическую активность (Lanzotti, 2005; Mskhiladze, 2008; Spirostone..., 2011; Structure..., 2013).

### 1.2.9 Алкалоиды

Алкалоиды являются одним из наиболее широко распространенных в растительном мире классов биологически активных веществ. Это азотсодержащие гетероциклические основания, которые обладают сильной и специфической биологической активностью. К настоящему времени известно около 10 тыс. алкалоидов, и почти все они обладают высокой фармакологической активностью. Алкалоидоносные растения составляют примерно 10% мировой флоры. Содержание алкалоидов в растительном сырье обычно составляет сотые или десятые доли процента, но иногда бывает очень значительным. Например, в коре хинного дерева их количество достигает 15-20%. В коре корней барбариса содержится до 20% суммы алкалоидов, из которых основным является берберин (Генри, 1966; Потопальский и др., 1982). Многие алкалоиды специфичны для родов и даже семейств. Это свойство широко используют в систематике. Они накапливаются во всех частях растений, но чаще локализируются в одном органе, например, в листьях чая и коки (*Erythroxylum coca* Lam.), траве чистотела (*Chelidonium majus* L.), плодах дурмана (*Datura* L.), корневище скополии (*Scopolia* Jacq.), коре хинного дерева (*Cinchona* spp. и *Remijia* spp.), клубнях аконита (*Aconitum* L.). При этом они часто накапливаются не в тех тканях, где синтезируются. Например, никотин синтезируется в корнях табака (*Nicotiana* spp.), а запасается в листьях. Большинство растений в своем составе содержат не один, а несколько алкалоидов. Так, в спорынье (*Claviceps*) обнаружено свыше 30 различных алкалоидов, а в раувольфии змеиной (*Rauwolfia serpentina* L.) – около 50. Однако чаще всего у одного растения количественно преобладают два-три алкалоида. Их содержание в одном и том же растении зависит от времени года и фазы развития (Орехов, 1955, 1965; Voit, 1961; Юнусов, 2001).

В середине прошлого века начались исследования различных видов лука на наличие алкалоидов. В 23 видах из флоры Киргизии были обнаружены алкалоиды от следовых количеств до 0.3% (Алкалоидоносные..., 1975). У 11 видов рода *Allium* из флоры Бурятии были обнаружены алкалоиды в сумме от 0.04 до 0.2% воздушно-сухой массы. Из л. ветвистого впервые был выделен индивидуальный алкалоид, названный аллин, с выходом 4% суммы алкалоидов (Анцупова, Самиков, 1984; Анцупова, Положий, 1987). По структуре это соединение относится к производным индола и имеет физостегминовый скелет с одной триптаминовой единицей. Несколько позже аллин также был выде-

лен из растений л. стареющего *A. senescens* L. и л. неравноногого *A. anisopodium* Ledeb. (Алкалоиды..., 1986). Из листьев л. клубневого (*A. tuberosum* L.) с выходом 0.015% был выделен индольный алкалоид β-карболинового ряда, который методами <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии был идентифицирован как (-)-(3S)-1,2,3,4-тетрагидро-β-карболин-3-карбоновая кислота (Isolation..., 1988). Из семян этого вида лука был выделен еще один алкалоид (+)-туберозин В, который имел тетрагидрохинолиновую структуру (A new..., 2000). Наиболее богаты алкалоидами растения семейства пасленовых (Solanaceae Juss.) и маковых (Papaveraceae Juss.), а также лютиковые (Ranunculus L.) и лилейные (Liliaceae Juss.). Многие алкалоидоносные растения ядовиты и не поедаются животными, они значительно реже поражаются грибковыми и бактериальными заболеваниями.

### 1.2.10 Макроэлементы

Макро- и микроэлементы занимают заметное место среди компонентов химического состава растений, так как они играют важную физиологическую роль в организме как растений, так человека и животных. К макроэлементам относят элементы, которые содержатся в растениях в значительных количествах (от сотых долей до целых процентов). Это углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, натрий, сера и магний. К микроэлементам причисляют те, которые присутствуют в растениях в очень незначительных количествах (от стотысячных до тысячных долей процента), но которые, несмотря на столь малое содержание, оказывают сильное воздействие на жизненные процессы растений. К ним относятся, например, железо, марганец, медь, цинк, алюминий, хром, молибден, бор, кобальт, селен, стронций, кадмий. Влияние микроэлементов на обмен веществ, участие в биохимических реакциях организма обусловлено их вхождением в структуру таких биологически активных веществ, как ферменты, белки, гормоны, витамины и пигменты (Кортев и др., 1972; Колотилова, Глушанков, 1976; Скальный, Рудаков, 2004; Битюцкий, 2011).

В настоящее время 15 из 81 элемента, обнаруженного в организме человека (железо, йод, медь, цинк, кобальт, хром, молибден, никель, ванадий, селен, марганец, мышьяк, фтор, кремний, литий), признаны жизненно необходимыми. Однако они могут оказывать отрицательное влияние на растения, животных и человека, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы. Кадмий (Ягодин и др., 1989), свинец, олово и рубидий считаются условно необходимыми, так как они, по всей видимости, не очень важны для растений и животных и опасны для здоровья человека даже при относительно низких концентрациях (Рэуце, Кырстя, 1986; Микроэлементозы..., 1991; Вронский, 1996). Влияние микроэлементов на жизнедеятельность животных и человека активно изучают и в медицинских целях. В настоящее время выявлено, что многие заболевания, синдромы и патологические состояния вызваны дефицитом, избытком или дисбалансом

микроэлементов в живом организме и имеют общее название «микроэлементозы» (Микроэлементозы..., 1991).

Содержание макро- и микроэлементов, наряду с первичными и вторичными метаболитами, является одной из важных характеристик пищевой и фармакологической ценности растений. Микроэлементы, находящиеся в растениях, чаще всего связаны с биологически активными веществами органической природы, поэтому они лучше усваиваются человеческим организмом, чем различные неорганические формы (Ноздрюхина, Гринкевич, 1980). При недостатке необходимого элемента возникают первичные нарушения метаболизма, за которыми следуют цепные процессы, приводящие, в конце концов, к более глубокому нарушению. Каждый элемент, как в растении, так и в человеческом организме, выполняет свою вполне конкретную роль (Биохимия..., 1968; Шабров и др., 2003). Так как почти все протекающие в организме процессы являются ферментативными, роль кофакторов в процессах метаболизма чрезвычайно важна. При дефиците минеральных компонентов значительная часть ферментных систем организма функционирует неэффективно, создается ситуация, адекватная той, которая возникает при дефиците витаминов (Гичев, 1998; Шабров и др., 2003). Сведения о содержании макро- и микроэлементов в луке весьма скудные, что, вероятно, связано с трудностью оценки величины аккумулярования, на которую влияют климатические условия, географическое положение (Федорова, 1948), экологические условия произрастания и культивирования, агротехнические приемы выращивания, состав и свойства почвы, в том числе содержание в почве других элементов, которые могут играть роль как синергистов, так и антагонистов. Вместе с тем показано, что растения рода *Allium* содержат широкий спектр макро- и микроэлементов (Шифрина, 1961; Корневищные..., 1992; Виноградов, 2005; Селютина, 2007).

Калий играет важнейшую физиологическую роль в углеводном и белковом обмене растений, в процессах фотосинтеза и водного обмена, повышает устойчивость к увяданию и преждевременному обезвоживанию, укрепляет ткани растения и делает их более устойчивыми к болезням и вредителям. Листья разных видов лука содержат от 1.0 до 2.55% калия (от сухой массы), серу (0.27-1.49), кальций (0.18-1.47), фосфор (0.49-0.67), магний (0.07-0.51) и натрий (0.01-0.05%), который участвует вместе с другими солями в создании осмотического потенциала клетки (Корневищные..., 1992).

Кальций – один из важнейших элементов для питания растения. При его недостатке наблюдается неправильное деление ядра и отмирание точки роста. Ион магния – синергист и антагонист кальция. Эти элементы должны поступать в организм сбалансированно в соотношении Ca:Mg=2:1 (Turlapaty, Altura, 1980; Чекман и др., 1992; Книга..., 1997). Магний – необходимый фактор функционирования АТФ, в комплексе с которым он контролирует энергетический потенциал клеток и органов. По мнению некото-

рых специалистов, дефицит кальция и магния в воде приводит к заболеваемости сердечно-сосудистой и костной систем, повышенной ломкости костей у детей, остеопорозу у пожилых людей (Шабров и др., 2003).

Сера является одним из важнейших макроэлементов в растениях рода *Allium*. Она входит в состав аминокислот цистина и метионина, а также глутатиона, являющегося главным антиоксидантом нашего организма, играющего важную роль в его защите от болезней, токсинов, вирусов, неблагоприятного воздействия окружающей среды, излучений и окислительного стресса и содержащегося во всех клетках растений. Сера входит в состав эфирных масел, поэтому ее наличие может служить количественной характеристикой этого класса соединений в луках. Кроме того, ее содержат ЛФОВ в виде тиопропионового альдегида.

### 1.2.11 Микроэлементы

Железо является главным по содержанию микроэлементом во всех исследованных видах лука (Корневищные..., 1992; Голубев и др., 2003). В виде геминовой группировки оно входит в состав таких ферментов, как цитохромы, являющиеся необходимым компонентом дыхательной и фотосинтетической электронтранспортной цепи. Особая функция железа заключается в его участии в биосинтезе хлорофилла. Как правило, в корнях железа в несколько раз больше, чем в побеге. Среднее содержание железа в растительности Земли составляет 200 мг/кг (Добровольский, 2003; Битюцкий, 2011). В различных видах *Allium* содержание железа колеблется в довольно широких пределах. В надземной части многолетних луков по различным данным оно составляет 18-275 мг/кг сухого вещества (Корневищные..., 1992; Голубев и др., 2003; Голубкина и др., 2009), в луковичах чеснока – 52.91 мг/кг (Some..., 2005), а в семенах л. репчатого – 66 мг/кг (Dini et al., 2008).

В листьях многолетних луков также содержатся (мг/кг): цинк (11.4-42.5), бром (10.83-48.86), марганец (8.0-44.7), медь (0.9-4.1), стронций (2.15-6.66), никель (0.98-6.02), кобальт (0.01-0.4), хром (0.09-2.49), свинец (0.01-0.44), кадмий (0.07-0.76) и селен (0.17-0.44) (Голубев и др., 2003; Голубкина и др., 2009; Dini et al., 2008). В чесноке, кроме того, были обнаружены (мг/кг): алюминий (25.15), бор (17.63), барий (21.68) и литий (0.029) (Some..., 2005).

Цинк – один из важнейших микроэлементов, необходимых для нормального функционирования иммунной системы человеческого организма. Он оказывает выраженное иммунотерапевтическое действие и препятствует возникновению иммунодефицитов, особенно в пожилом возрасте и при стрессе. Эффективность цинка значительно повышается в сочетании с витаминами А и С. Он является необходимым фактором для реализации весьма многоплановых проявлений А-витаминной активности. Во всех этих эффектах проявляется еще одно важное свойство как цинка, так и витамина А – антиоксидантная активность. Цинк вместе с медью – кофактор антиоксидантного металлофермента первого уровня анти-

оксидантной защиты клеток (Zn,Cu)-супероксиддисмутазы, обрывающего цепи свободно-радикальных процессов на начальных стадиях, препятствуя образованию особенно агрессивных активных форм кислорода (Шабров и др., 2003). Даже у больных СПИД-ом применение цинка уменьшает количество оппортунистических инфекций (Mocchegiani, Fabris, 1995). Он входит в структуру активного центра широкого круга ферментов – так называемых металлоферментов. Цинкзависимыми являются около 100 ферментов, обеспечивающих жизнедеятельность живой клетки. Цинк катализирует ключевую реакцию биосинтеза порфиринового ядра гема (гемоглобин, каталаза ферментной системы цитохром P-450). Его действие на различные аспекты жизнедеятельности организма настолько многопланово, что предполагает влияние на какие-то ключевые звенья функционирования клетки (Шабров и др., 2003). Известно, что содержание цинка, как и других элементов питания, сильно зависит от условий среды и генотипических особенностей растения. Концентрация цинка в растении обычно колеблется от 1 до 80 мг/кг сухой массы. Повышенным содержанием цинка отличаются листья и генеративные органы (Битюцкий, 2011).

Многие виды лука аккумулируют медь, являясь источником этого микроэлемента, входящего в состав многих ферментов, участвующих в реакциях окисления компонентов растений органической природы. По своим биохимическим свойствам и функциям медь сходна с железом (Голубев и др., 2003), наряду с которым принимает активное участие в окислительно-восстановительных процессах. Показано, что эти два металла могут усиливать действие друг друга. Медь способна образовывать стабильные комплексы и изменять степень окисления от 2+ до 1+. При ее недостатке снижается активность ключевых ферментов, участвующих в процессах фотосинтеза и дыхания. Значительное содержание меди, по мнению некоторых авторов, отличает сапонинсодержащие растения. В растениях этой группы особенно много ее накапливают цветки и плоды, затем корни и листья (Избирательное..., 1997).

Марганец широко распространен в почве, растениях и организме животных и является существенным пищевым компонентом. Как недостаток, так и избыток марганца в организме человека и животного приводит к негативным последствиям. Он входит в состав металлоэнзима митохондриальной марганецзависимой супероксиддисмутазы, являющейся важнейшим ферментом антиоксидантной системы митохондрий (Гичев, Гичев, 2009; Мазо и др., 2009). Кроме того, марганец участвует в метаболизме соединительной ткани, минерализации костной ткани (Saltman, Strause, 1993), регулирует уровень глюкозы в крови и нужен для нормального синтеза инсулина (Мазо и др., 2009). Марганец является важнейшим компонентом при образовании тироксина – главного гормона щитовидной железы (Overexpression..., 1996). Он входит в состав двух основных ферментов биосинтеза сапонинов

(мевалонактиназы и пренилтрансферазы), катализирующих превращение мевалоновой кислоты в геранилдифосфат, который является непосредственным предшественником стероидных и три-терпеновых сапонинов. Растения, которые содержат марганец в количествах от сотых до десятых долей процента, называют манганофилами, к ним относят богатые аскорбиновой кислотой растения. Установлена зависимость между содержанием марганца в растениях и количеством аскорбиновой кислоты и доказано, что он играет специфическую роль в биосинтезе аскорбиновой кислоты (Rudra, 1944). В более поздних исследованиях (Спиридонова, 1955) была установлена прямая зависимость между синтезом витамина С и активностью окислительных ферментов, которые катализируют марганец в растительных тканях. Таким образом, высокое содержание марганца в растениях, богатых аскорбиновой кислотой, объясняется его физиологической ролью в жизнедеятельности растительного организма. Критические концентрации марганца в тканях растений варьируют от 200 до 5300 мг/кг сухой массы. Его избыток нарушает гормональный обмен растений, что вызывает отмирание терминальных почек и усиливает рост боковых побегов (Marschner, 1997), а у животных может привести к уменьшению содержания гемоглобина и размеров эритроцитов в крови, снижению потребления кормов и переваривания клетчатки, истощению (Кальницкий, 1985).

Несмотря на то, что содержание молибдена в растениях колеблется от 0.00001 до 0.001% сухого вещества (Болгова и др., 2008), он необходим для нормального развития высших растений, что впервые открыли Д. Арнон и П. Стоут в 1939 г. (Arnon, Stout, 1939). Основные биохимические функции молибдена связаны с его способностью изменять валентность и участвовать в реакциях комплексообразования. Из известных более чем 50 ферментов, содержащих этот элемент, в растениях обнаружено несколько, содержащих молибден в качестве кофактора: нитратредуктаза, нитрогеназа, ксантиноксидаза/дегидрогеназа, альдегидоксидаза и сульфатредуктаза. В этих энзимах молибден выполняет каталитическую и структурную функции (Sigel, Sigel, 2002; Битюцкий, 2011). Молибден накапливается преимущественно в молодых растущих органах, входит в состав ферментов, под действием которых происходит восстановление в клетках нитратного азота, играет большую роль в азотном обмене и синтезе белковых веществ, способствует усвоению азота, растворенного в воде, участвует в синтезе нуклеиновых кислот. Особенно богаты им семена растений. Основными источниками поступления молибдена в организм являются продукты растительного происхождения: горох, бобы, гречиха, салат, петрушка, шпинат, картофель, морковь, репчатый лук, помидоры, редька, злаковые культуры. Этот список можно пополнить и представителями рода *Allium*, которые можно отнести к сверхконцентраторам молибдена.

Хром, как сравнительно недавно было обнаружено, содержат многие виды многолетних луков (Голубев и др., 2003; Голубки-

на, Папазян, 2006). Так, аккумулятором этого микроэлемента является л. желтеющий (*A. flavescens* Bess.) (Голубев и др., 2003). Хром относят к одним из наименее токсичных тяжелых металлов и самым активным гипохолестеринемическим микронутриентам. Он необходим для нормального метаболизма глюкозы, являясь компонентом соединения, называемого «фактором толерантности к глюкозе» (GTF, glucose tolerance factor), которое во взаимодействии с инсулином доставляет глюкозу в клетки, где она используется для производства энергии. Оптимальное потребление хрома ведет к уменьшению количества инсулина, необходимого для поддержания нормального уровня глюкозы в крови. Взаимодействие хрома с инсулином стимулирует также синтез белка (Гичев, Гичев, 2009). Содержание хрома в сухой массе растений достигает 0.0005% (Виноградов, 1952; Алексеев, 1987). В природе хром встречается в трех валентных состояниях. Наиболее распространенными являются соединения трехвалентного хрома. Его шестивалентная форма отнесена к канцерогенным веществам, поскольку обладает сильными окислительными свойствами. При неадекватном поступлении хрома в организм с кормом, он способен накапливаться и оказывать отрицательное воздействие на здоровье животных, их продуктивность и качество продукции (Гогин, 2001).

Хром относится к важнейшим биогенным элементам и входит в состав всех без исключения низших и высших растений. Содержание этого элемента в высших растениях изменяется в широких пределах и в значительной степени зависит от их ботанической принадлежности и фазы развития (Ноздрюхина, Гринкевич, 1980). Для большинства высших растений хром отнесен к группе слабого накопления и среднего захвата и имеет коэффициент биологического накопления (КБН) около 1, а для разнотравья – к группе энергично накапливаемых элементов с коэффициентом 29. Сверхнакопителем хрома является лобелия вздутая (*Lobelia inflata* L.). Изучению содержания хрома в растениях стали уделять большое внимание после сравнительно недавнего открытия его участия в метаболизме глюкозы в холестерин, свидетельствующего о важности этого элемента для жизнедеятельности человека и животных (Davis, Vinsent, 1997). Небольшие концентрации хрома в питательной среде усиливают активность ксилной фосфатазы и благоприятно сказываются на метаболизме глюкозы (Микроэлементозы..., 1991). В организме человека содержится до 6 мг хрома. Суточная норма его поступления в организм невелика – от 50 до 200 мкг. Из всего поступившего с пищей хрома всасывается лишь 1-2%, остальные 98-99% выводятся из организма, поэтому почти половина населения, особенно лица старшего и преклонного возраста, испытывают дефицит хрома (Болгова и др., 2008).

Селен, как показали исследования последних лет, является незаменимым микроэлементом, необходимым для нормального функционирования сердечно-сосудистой, эндокринной и иммунной систем (Бурцева, Бурлуцкая, 2006; Голубкина, Папазян,

2006; Гичев, Гичев, 2009; Golubkina, 2016). Научные исследования этого микроэлемента были начаты в 30-40-х гг. прошлого века в США, когда в некоторых штатах у животных, употребляющих в пищу так называемые растения – аккумуляторы селена, были обнаружены случаи токсикозов. Вплоть до 50-х гг. прошлого столетия эффект биологического действия селена рассматривался лишь с позиций его токсичности. Однако, когда было доказано, что селен является эссенциальным нутриентом, входящим в состав различных ферментов антиоксидантной защиты, так называемых селенопротеинов, главными из которых являются глутатионпероксидаза, фосфолипидгидропероксид-глутатионпероксидаза, исследования в области селена получили новый толчок (Burk, Hill, 1993; Holben, Smith, 1999). В настоящее время известно, что он является неотъемлемой частью по крайней мере 25 селенопротеинов, участвующих в регуляции основных метаболических путей в организме человека и животных. Считают, что селен оказывает многостороннее действие на обмен веществ и защиту организма от действия разнообразных повреждающих факторов. Он обладает очень сильным антиканцерогенным действием, необходимым для нормального функционирования щитовидной железы (Решетник, Парфенова, 2000; Шабров и др., 2003; Действие..., 2010), снижает канцерогенные и токсические свойства ртути, кадмия, свинца, таллия и других вредных веществ – спутников современной цивилизации (Решетник, Парфенова, 2000). Было доказано, что глубокий дефицит селена в пищевой цепи обуславливает развитие специфических эндемических заболеваний – кардиомиопатии (болезнь Кешана) и остеоартропатии (болезнь Кашина-Бека), которые встречаются в тех регионах, где его потребление в суточном рационе ниже нормы в 2.0-2.5 раза или ежедневное потребление элемента менее 7 мкг (Лужен, 1995; Селен..., 1995).

Важнейшими природными формами селена являются селеноцистеин (SeCys) и селенометионин (SeMet):



Селеноцистеин – нестандартная «двадцать первая» аминокислота, входящая в состав активного центра фермента глутатионпероксидазы и отличающаяся от обычного цистеина тем, что вместо атома серы в ее состав входит атом селена. Селеноцистеин является обязательным компонентом нескольких важных ферментов в организме человека. В геноме человека содержится более 20 генов селенопротеинов, поэтому селен является необходимым компонентом питания, и его недостаток в пище приводит к различным заболеваниям. Синтез селеноцистеина кодируется в организме человека и животных генетически и определяет во многом активность глутатионпероксидаз и других селенсодержащих ферментов, ответственных за антиоксидантную защиту липидов клеточных стенок от перекисного окисления (Gladyshev, Hatfield, 1999). Селе-

нометионин – природная селенсодержащая аминокислота, являющаяся важным пищевым источником селена. При потреблении в пищу растительных селенопротеинов селенометионин всасывается и ассимилируется организмом. Комбинированное действие витамина Е и селенометионина усиливает антиоксидантные свойства последнего, обеспечивает более мощную защиту иммунной системы.

Одним из основных источников селена в России являются зерновые, с продуктами переработки которых россияне получают до 50% диетического селена, что связано с низким уровнем потребления мяса, молочных продуктов, овощей и фруктов, в то время как за рубежом эта величина составляет всего 20%. Зерновые содержат селен в наиболее хорошо усваиваемой органической форме – селенометионина. В ходе клинических испытаний было доказано, что селенометионин, являющийся органической формой селена, на 19% лучше усваивается организмом человека, чем его неорганическая форма – селенит (Methylselenol..., 2012).

Большинство овощных культур накапливает селен в следовых количествах, и при повышении концентрации в почве он ингибирует рост растений. Несмотря на этот парадокс, для человека крайне важно получать селен именно при потреблении овощей. Если в пшенице основной формой селена является селенометионин, то многие растения, в том числе рода *Allium* и *Brassica*, накапливают преимущественно антиканцерогенные селенометил селеноцистеин и гамма-глутамил селенометил селеноцистеин (Allium..., 2001; Whanger, 2002). Среди различных химических форм микроэлемента (селенаты, селениты, селеносодержащие белки, синтетические производные: селенопиран, диметил дипиразоллил селенид и др.) именно метилированные формы селенсодержащих аминокислот обеспечивают наиболее эффективную защиту от онкологических заболеваний (Биологически..., 2010; Methylselenol..., 2012; Golubkina, 2016).

Антиоксидантные свойства многолетних луков некоторые авторы связывают как с наличием специфических химических форм селена, так и с высоким содержанием витамина С и флавоноидов. При исследовании семи видов многолетних луков из Подмосковья было показано (Голубев и др., 2003), что все они имеют высокие аккумулярующие свойства по отношению к селену (КБН = 0.92-2.12). Наиболее выраженной способностью накапливать селен среди растений рода *Allium* обладает чеснок. Средний уровень аккумулярования селена чесноком составляет 200 мкг/кг сырой массы (Combs, Combs, 1986), что в 10 раз превышает этот показатель для других растений, в том числе и луков (*A. schoenoprasum*, *A. nutans*, *A. angulosum*, *A. fistulosum*, *A. odorum*). Вымачивание лукович чеснока в растворе селената натрия позволяет получить продукцию с содержанием микроэлемента от 300 до 3060 мкг/кг сырой массы (Голубкина, Папазян, 2006). В чесноке селен присутствует в виде селенометил селеноцистеина, который обладает выраженными антиканцерогенными свойствами (Enhanced..., 2000).

Эпидемиологические исследования, проведенные в Китае, показали, что потребление чеснока снижало частоту рака молочной железы на 40% по сравнению с показателями для населения, редко употребляющего чеснок (Ip et al., 1992; Ip, Lisk, 1995). Чеснок, обогащенный селеном, обладает еще более выраженным антиканцерогенным действием и уменьшает частоту случаев рака молочной железы на 60%. В связи с этим общей тенденцией в мире является увеличение производства чеснока с повышенным содержанием этого микроэлемента. Повышение содержания в чесноке селенометил селеноцистеина в настоящее время в основном осуществляют внесением селена в почву (Ip, 1992).

Для большей части территории России характерно низкое содержание селена, что закономерно приводит к дефициту в цепи биологического круговорота почва–растения–животные–человек. На селеновой карте России преобладают «белые пятна» регионов с неизученным селеновым статусом окружающей среды (Голубкина и др., 2006; Селенодефицит..., 2011; Содержание..., 2011; Ширшова и др., 2018). Эпидемиологические исследования свидетельствуют о пониженном селеновом статусе более 80% населения страны. По данным Российской академии медицинских наук, явный дефицит селена имеет более 50% жителей России. В экологически неблагоприятных районах этот показатель доходит до 95-100%. В Восточной Сибири и Забайкалье содержание селена в организме людей в два раза ниже нормы (Пузанов, Мальгин, 2000). В Москве умеренный дефицит селена был выявлен у 80% женщин репродуктивного возраста, 33% детей и 38% мужчин старше 30 лет (Микроэлементозы..., 2005; Голубкина, Папазян, 2006). Архангельскую область и Республику Коми относят к регионам с низким селеновым статусом (Проблемы..., 2009; Паршукова, 2010; Адаптация..., 2012). Результаты изучения особенностей селеновой обеспеченности северян показали, что среди проживающих на европейском Севере мужчин и женщин дефицит селена в сыворотке крови встречается соответственно в 18 и 32% случаев. Выраженное снижение его содержания в сыворотке крови у северян отмечается с мая по август с наиболее низкими значениями в июле. У оленеводов количество лиц с дефицитом селена в организме встречается реже – у 14 и 19% мужчин и женщин, чем у городских жителей, где эти показатели составляют 32 и 51% соответственно (Проблемы..., 2009; Паршукова, 2010). Проведенные недавно исследования селенового статуса детского населения по содержанию в волосах показали, что гипоселеноз характерен для 95% детского населения Республики Коми. Установленный автором центильный интервал находится ниже нормы средних значений по России (Боднар, 2013).

Приведенный обзор мировой научной литературы о содержании важных для человека биологически активных веществ и микронутриентов в представителях рода *Allium*, пищевой и фармакологической ценности разных видов лука, перспективности использования их для профилактики различных, в том числе и онколо-

гических, заболеваний свидетельствует об актуальности изучения представителей этого широко распространенного, многообразного, богатого микронутриентами рода. В следующих главах обобщены результаты многолетних исследований химического состава дикорастущего и культивируемого в Республике Коми шнитт-лука, зависимость содержания важных групп биологически активных веществ от эколого-географических, эдафических факторов. Приведены результаты исследования антиоксидантной и противоопухолевой активности субстанций, обогащенных СГ и селеном.

## Глава 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили растения шнитт-лука из различных экотопов, собранные в 15 природных ценопопуляциях, а также растения-интродуценты из коллекции Ботанического сада и лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН, выращенные из семян, полученных по делектусу из Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС, Москва), ВНИИ лекарственных и ароматических растений РАСХН (ВИЛАР), ВНИИ растениеводства (Москва) и Ботанического института РАН им. Комарова (БИН, Санкт-Петербург), а также ботанических садов других городов России и зарубежья (Волкова, 2007). Было проведено сравнительное исследование луков-интродуцентов из коллекций ботанического сада и лаборатории биохимии и биотехнологии и дикорастущих растений из различных местообитаний республики (табл. 2; рис. 3-12 – см. вклейку). Сбор растительного сырья производился с мая по август 2006-2013 гг. в различные фазы вегетации на географически удаленных территориях Республики Коми, что позволило изучить влияние различных факторов (эколого-географических, эдафических, природно-климатических) на развитие растений, внутривидовую вариабельность содержания биологически активных веществ и микронутриентов. Координаты места сбора образцов определяли с помощью GPS-навигатора Garmin (модель – eTrex Vista Hcx).

С целью изучения внутривидовых отличий наряду с видом *A. schoenoprasum* были исследованы его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major*, сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova* (лук скорода «Пражска Крайова») и форма *A. schoenoprasum* f. *Roseum* из коллекции БС. Семена разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* получены из Ботанического института РАН (Санкт-Петербург, 1998). Растения этого образца отличались от исходного вида стабильно крупными размерами: высота цветоноса в среднем составляла 73.4 см, листья в длину достигали 52 см. Сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova* (Р.К.) получен семенами из Барнаула в 1994 г. В 2006 г. из семян местной репродукции (коллекция БС, сбор 2005 г.) была создана коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии, содержащая разновидность *A. schoenoprasum* var. *major* и сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. Р.К. Для выявления динамики накопления различных групп биологически активных веществ, макро- и микроэлементов культивируемые растения собирали в разные фенофазы – отрастание, бутонизация, цветение и плодоношение.

Таблица 2

Исучаемые образцы шнитт-лука

Номер образца	Место сбора	Местообитание	Координаты (GPS)	Дата сбора	Фаза развития
1	Коллекция Ботанического сада, с. Вильгорт Сыктывдинского района РК (БС)	Верхняя часть пойменной террасы р. Сысола, сформированные гряды	N 61°37'09" E 50°45'42"	26.05.2006	Отрастание
2				16.06.2006	Бутонизация
3				16.06.2006	Бутонизация
4*				26.05.2006	Бутонизация
5**				26.05.2006	Бутонизация
6***				26.05.2006	Бутонизация
7	Приполярный Урал, правый берег р. Паток, Долина ручья	Высота 586 м над ур.м., русло ручья, увлажнение проточное, сообщество сырая приручьевая луговина	N 64°41'11" E 59°41'04"	8.07.2006	Бутонизация
8	Приполярный Урал, правый берег р. Паток	Высота 615 м над ур.м., увлажнение дождевое и снеговое, сообщество субальпийский луг	N 64°41'04" E 59°41'28"	10.07.2006	Цветение
9	Село Гам, Усть-Вымский район	Отдельные особи вдоль дороги	N 62°06' E 49°39'	22.06.2006	Цветение
10	Село Гам, пойма на левом берегу р. Вычегда	Разнотравно-хвощовый луг	N 62°06' E 49°42'	25.06.2006	Цветение
11	БС	Сформированные гряды	N 61°37'09" E 50°45'42"	13.06.2007	Бутонизация
12				19.06.2008	Бутонизация
13**				19.06.2008	Бутонизация
14**	Коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии (КЛББ)	Сформированные гряды	N 61°38'49" E 50°43'55"	24.06.2008	Бутонизация
15**				11.08.2008	Плодоношение
16***				24.06.2008	Бутонизация, цветение
17****				11.08.2008	Плодоношение
18	Село Гам, правый берег р. Вычегда	Притеррасное понижение в долине реки, сообщество лютиково-разнотравный луг	N 62°06' E 49°42'	26.06.2008	Бутонизация, цветение
19	Село Гам	Отдельные особи вдоль дороги	N 62°06' E 49°39'	26.06.2008	Бутонизация, цветение

Продолжение табл. 2

Номер образца	Место сбора	Местообитание	Координаты (GPS)	Дата сбора	Фаза развития
20	Троицко-Печорский район, Печоро-Ильчский заповедник, правый берег р. Ильч	Сообщество бечевник	N 62°33'27" E 58°05'45"	30.07.2008	Цветение
21	БС	Сформированные гряды	N 61°37'09" E 50°45'42"	29.05.2009	Отрастание
22				22.06.2009	Бутонизация
23				6.07.2009	Цветение
24				29.07.2009	Плодоношение
25***	КЛББ	Сформированные гряды	N 61°38'49" E 50°43'55"	5.06.2009	Отрастание
26***				10.06.2009	Бутонизация
27***				25.06.2009	Цветение
28***				3.08.2009	Плодоношение
29**				10.06.2009	Отрастание
30**				22.06.2009	Бутонизация
31**				9.07.2009	Цветение
32**				3.08.2009	Плодоношение
33	Село Гам	Притеррасное понижение в долине р. Вычегда, лютиково-разнотравный луг	N 62°06'30" E 49°42'42"	24.06.2009	Бутонизация
34	Усть-Цилемский район, левый берег р. Цильма	Бечевник с открытыми песчаными участками, камни – 10%	N 65°38'32" E 49°22'22"	20.07.2009	Цветение
35	Усть-Цилемский район, верхнее и среднее течение р. Цильма, заказник	Песчано-галечниковый бечевник, камни – 100%	N 65°37'71" E 49°22'01"	22.07.2009	Цветение
36	Усть-Цилемский район, правый берег р. Цильма, Нонбурский заказник	Травянистый бечевник, камни – 10%	N 65°30'54" E 50°41'36"	27.07.2009	Цветение
37	Вуктыльский район, среднее течение р. Щугор, правый берег	Сырой травянистый бечевник с выходами родников, камни – 30-40%	N 64°20'41" E 58°29'56"	11.07.2009	Цветение
38	Вуктыльский район, среднее течение р. Щугор, правый берег	Каменистый бечевник, камни – 60%	N 64°20'41" E 58°29'56"	11.07.2009	Цветение

Окончание табл. 2

Номер образца	Место сбора	Местообитание	Координаты (GPS)	Дата сбора	Фаза развития
39	Вуктыльский район, среднее течение р. Шугор	Скальные выходы, сообщество скалы и бечевники	N 64°20'94" E 58°23'92"	12.07.2009	Цветение
40	Окрестности г. Воркута, пос. Цементозаводской, правый берег р. Воркута	Участки с травянистой растительностью в ерниково-можжевеловой тундре, сообщество бечевник	N 67°33'22" E 64°03'11"	6.08.2009	Цветение
41	Воркута, пос. Советский, правый берег р. Уса	Нижняя часть склона западной экспозиции, выходы известняковых пород	N 67°33'40" E 64°03'40"	7.08.2009	Бутонизация
42	Воркута, пос. Советский, р. Уса	Травянистый бечевник у подножия скал	N 67°33'40" E 64°03'40"	7.08.2009	Цветение
43	Окрестности г. Сыктывкара, местечко Алешино	Берег старицы (Вычегда), заливной осоковый луг	N 61°42'04" E 50°57'02"	18.06.2010	Цветение
44**	КЛББ	Сформированные гряды	N 61°38'49" E 50°43'55"	24.07.2010	Плодоношение
45***	24.07.2010			Плодоношение	
46**	18.07.2011			Цветение	

Примечания: БС – Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН; КЛББ – Коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии; \* форма *A. schoenoprasum* f. *Roseum*; \*\* разновидность *A. schoenoprasum* var. *major*; \*\*\* сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova*.

Для изучения влияния природно-климатических и эдафических факторов на химический состав шнитт-лука были отобраны дикорастущие образцы из 15 точек географически удаленных районов Республики Коми: окрестности г. Сыктывкара (местечко Алешино) и с. Гам Усть-Вымского района (бассейн р. Вычегда), Северный Урал (Печоро-Илычский заповедник, бассейн р. Илыч), Приполярный Урал (бассейн р. Щугор), Усть-Цилемский район (бассейны рек Мутная и Цильма) и окрестности г. Воркута (бассейны рек Воркута и Уса). Природные популяции шнитт-лука были обнаружены в типичных для этого вида местообитаниях: бечевники вдоль рек, лютиково-разнотравный луг, приручьевая лугovina и субальпийский луг. Для определения влияния высоты места произрастания и других факторов на химический состав лука на Приполярном Урале были отобраны образцы на разных уровнях (табл. 2, обр. 7 и 8). Природные образцы собирали в фазах бутонизации и цветения. Всего для исследования было отобрано 18 дикорастущих и 28 культивируемых образцов.

Геоботанические описания растительных сообществ с присутствием модельного вида были проведены сотрудниками Института биологии – старшим научным сотрудником отдела флоры и растительности Севера к.б.н. Л.В. Тетерюк и научным сотрудником этого отдела к.б.н. В.А. Каневым на пробных площадях 10×10 м согласно принятым методикам (Миркин, Розенберг, 1978). Изучение ценопопуляций рода *Allium* проводили на основе рекомендаций для изучения природных популяций сосудистых растений (Ценопопуляции..., 1976, 1977, 1988). Для комплексного исследования химического состава брали не менее 30 растений каждого образца, разделяли на части – корни, луковичы, покровные чешуи, листья, бутоны, соцветия; измельчали и сушили при комнатной температуре и постоянном вентилировании. Семена собирали в фазе плодоношения, отделяли от околоплодников, сушили и измельчали. Образцы почвы отбирали из отдаленной ризосферной зоны исследуемых объектов, используя стандартные методики, сушили, растирали в фарфоровой ступке, просеивали через сито с диаметром ячеек 1-2 мм. Пробу для анализа отбирали фарфоровой ложкой, предварительно перемешав почву на всю глубину (ГОСТ 26483-85).

Анализ содержания жирных кислот, азота и протеиногенных аминокислот, макро- и микроэлементов, а также хромато-масс-спектрометрический анализ проводили в лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Общие липиды из воздушно-сухого сырья выделяли по модифицированной методике Фолча (Folch et al., 1957; Кейтс, 1975; Ширшова и др., 2008). Фосфолипиды осаждали из хлороформного раствора общих липидов 10-кратным объемом холодного ацетона. Осадок фосфолипидов отделяли центрифугированием при 12 000 об/мин в течение 10 мин. Нейтральные липиды из растительного сырья извлекали трехкратной экстракцией гексаном при комнатной температуре и постоянном перемешивании. Массу полученных липидов определяли гравиметрическим методом.

Метилловые эфиры жирных кислот получали метилированием НЛ (А.с., 1977) и анализировали методом газо-жидкостной хроматографии. Выделение стеринов из НЛ осуществляли на стеклянной хроматографической колонке, заполненной силикагелем марки L 11/250  $\mu$  (Чехия). В качестве элюента использовали гексан и смесь гексана с возрастающим градиентом диэтилового эфира. Компонентный состав устанавливали методами тонкослойной, высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и хромато-масс-спектрометрии.

Для выделения суммы СГ обезжиренное сырье подвергали трехкратной экстракции 70%-ным водным раствором этанола. Экстракты объединяли, упаривали до полного удаления спирта в вакууме. Водный остаток сутки выдерживали на холоде. Выпавший осадок, представляющий собой сумму СГ в основном спиростаноловой группы, отделяли центрифугированием в течение 5 мин при 9000 об/мин. Надосадочную жидкость, содержащую фураностаноловые гликозиды, трехкратно экстрагировали насыщенной водой бутанолом-1. Полученные экстракты объединяли, упаривали на роторном испарителе досуха. Массу гликозидов определяли гравиметрическим методом. Сумму фураностаноловых гликозидов очищали от сопутствующих примесей методом гель-хроматографии. Для выяснения структуры СГ осуществляли гидролиз их суммы, который проводили в соответствии с описанной методикой (Гликозиды..., 1972). Для анализа генинов и углеводов использовали метод ВЭЖХ.

### Хроматография

Тонкослойную хроматографию (ТСХ) НЛ проводили на пластинах «Sorbfil» (Россия), «Silufol» (Чехия), а также фирмы «Merck» (Германия), используя систему растворителей гексан–диэтиловый эфир–ледяная уксусная кислота в объемном соотношении 73:25:5. Высушенные пластины обрабатывали 10%-ным раствором фосфорно-молибденовой кислоты в этаноле с последующим нагреванием при температуре 100 °С до появления темно-синих пятен. В качестве стандартов для идентификации липидов использовали **Lipid Standard (Sigma, Швейцария), содержащие холестерин, олеиновую кислоту (C18:1, cis-9), метиловый эфир олеиновой кислоты, триолеин, олеат холестерина.** Для компонентов липидной фракции рассчитывали коэффициенты подвижности  $R_f$ .

Для тонкослойной хроматографии фосфолипидов использовали систему растворителей хлороформ–метанол–вода в объемных соотношениях 65:25:4. Обнаружение фосфолипидов осуществляли обработкой пластин растворами нингидрина и родамина 6G. Для идентификации фосфолипидов использовали стандарты фирмы Sigma (Швейцария): **L- $\alpha$ -phosphatidylethanolamin, L- $\alpha$ -phosphatidylcholin, 1,2-diacyl-sn-glycerol-3-phosphor-L-serine.** Компонентный состав суммы СГ определяли методом тонкослойной хроматографии на пластинах «Sorbfil» (Россия) и «Merck» в системах растворителей хлороформ–этанол–вода в объемных отноше-

ниях: I. 65:35:8; II. 65:24:4; III. 65:12:1.5; IV. 65:1:0.1. Обнаружение компонентов суммы СГ осуществляли обработкой высушенных пластин ванилин-фосфорной кислотой, реактивом Санье и специфическим для фураностаноловых гликозидов реактивом Эрлиха. В качестве стандартов для идентификации СГ и их генинов методом тонкослойной и высокоэффективной жидкостной хроматографии использовали диосгенин (Sigma – Aldrich Chemie Gmbr., Германия), смиллагенин (Fluka, USA), фураностаноловые гликозиды дельтозид и протодиосцин и спиростаноловый гликозид дельтонин, любезно предоставленные д.х.н. В.А. Пасешниченко (Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, Москва) и д.б.н. А.М. Носовым (Институт физиологии растений РАН, Москва). Разделение суммы СГ на узкие фракции и индивидуальные вещества проводили на стеклянных колонках различного диаметра и объема в зависимости от количества разделяемого вещества. В качестве адсорбентов использовали силикагель марки L 100/250  $\mu$  (Чехия) и нейтральную окись алюминия II степени активности по Брокману (Будапешт, Венгрия). В качестве элюента использовали хлороформ с возрастающим градиентом метанола (0→100%), а на заключительном этапе хроматографии – насыщенный водный бутанол.

Гель-хроматографию суммы экстрактивных веществ, содержащую фураностаноловые гликозиды, проводили на хроматографической колонке с сефадексом G-25 (размер частиц 20-80 мкм), элюент – дистиллированная вода.

Высокоэффективную жидкостную хроматографию осуществляли в изократическом режиме на хроматографе Smartline (Knauer, Германия). Анализ стерина, генинов, фурано- и спиростаноловых гликозидов проводили на колонке Диасфер 110-C18, 5 мкм, 4×250 мм (БиоХимМак, Россия), петля дозирования 20 мкл, детектор Smartline 2600 на диодной матрице, длина волны для генинов и гликозидов 207 нм, для стерина – 214 нм. В качестве элюента для генинов использовали метанол, расход подвижной фазы 1 см<sup>3</sup>/мин. Для фураностаноловых гликозидов использовали систему ацетонитрил–вода в объемных соотношениях 27:73, расход 0.5 см<sup>3</sup>/мин; для спиростаноловых – систему ацетонитрил–вода–концентрированная H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в объемных соотношениях 80:20:0.02, расход 0.5 см<sup>3</sup>/мин; для стерина – систему метанол–вода (в соотношении 99:1)/ацетонитрил в объемном соотношении 9:1, расход подвижной фазы 1.5 см<sup>3</sup>/мин. Углеводы анализировали на колонке Диасорб-130-Амин, 6 мкм, 4×250 мм, рефрактометрический детектор Smartline RI 2300, петля дозирования 20 мкл, элюент ацетонитрил–вода в объемном соотношении 80:20, расход подвижной фазы 0.7 см<sup>3</sup>/мин. Перед ВЭЖХ-анализом образцы очищали методом твердофазной экстракции на патронах Диапак С16 (СГ и генины), Диапак Амин (углеводы).

Хромато-масс-спектрометрию осуществляли на хромато-масс-спектрометре «Trace DSQ» (Thermo-Elektron, США) в режиме полного ионного тока. Идентификацию соединений проводили с помощью библиотек масс – спектров NJST05. Определение жирно-

кислотного состава липидов проводили на газовом хроматографе Кристалл 2000М (Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Регистрацию и обработку хроматограмм осуществляли с помощью системы сбора и обработки хроматографических данных «Хроматэк» (Кристалл, Россия). Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили методом хромато-масс-спектрометрии на приборе Finnigan Trase DSQ (Thermo-Electron, США).

Азот определяли с использованием газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110, модель CHNS-O (CE Instruments, Италия) по методике, разработанной в лаборатории «Эко-аналит» (Методика..., 2009). Содержание протеиногенных аминокислот устанавливали методом количественного химического анализа гидролизатов белков. Хроматографическое разделение аминокислот осуществляли на аминокислотном анализаторе марки ААА 339 (Microtecha, Чехия). Содержание аминокислот приведено в мг/г сухой массы.

Металлы в кислоторастворимой форме определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Spectro Ciros<sup>CD</sup> (Spectro Analytical Instrument GmbH, Германия) (Методические..., 1990), серу – с использованием газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110, модель CHNS-O (CE Instruments, Италия). Содержание элементов в воздушно-сухой почве определяли по стандартной методике (Методика..., 2005). Результаты приведены в мг/кг. Селен в растениях определяли флуорометрическим методом с использованием референс-стандартов (Alfthan, 1984; Голубкина, 1995) в трех повторностях в НИИ питания РАМН. Валовое содержание селена в почве – методом атомно-абсорбционной спектрометрии с использованием проточно-инжекционной системы. О накоплении макро- и микроэлементов судили по величине КБН, который рассчитывали по формуле:

$$\text{КБН} = \frac{\text{Содержание элемента в сухой биомассе}}{\text{Содержание элемента в почве}}$$

Для экспериментального повышения содержания селена в шнитт-луке использовали семена из коллекции ботанического сада. Сбор производили в сентябре 2011 г. Семена сушили в термостате при 35 °С и постоянном вентилировании, намачивали в 0.001- и 0.005%-ном водном растворе селената натрия, проращивали в полиэтиленовых ящиках, заполненных торфяно-песчаной смесью. Лабораторную всхожесть семян определяли по методике Николаевой с соавторами (1999). Высаженные растения подкармливали селенатом натрия из расчета 0.5 и 1.5 мг/кг почвы. Для проведения эксперимента брали по 500 семян для каждой из семи групп в трех повторностях. Первую группу, семена которой не подвергались обработке селенатом натрия, использовали в качестве контроля. Наблюдение за жизнеспособностью и всхожестью семян проводили в течение 21 дня. Измерения параметров морфологических признаков проростков (диаметр и высота луковиц, длина корней, высота листьев и цветоноса) проводили через три

месяца после посадки семян в грунт. Первичный материал обработан методами математической статистики (Лакин, 1990) с использованием пакетов программы EXCEL.

Аскорбиновую кислоту определяли методом визуального титрования гомогенатов, полученных из свежих листьев непосредственно после сбора растений (Государственная..., 1990). Флавоноиды определяли спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу (Antioxidant..., 2006).

### Определение физиологической активности субстратов из шнитт-лука

Комплексная оценка антиоксидантной активности экстрактов шнитт-лука была проведена в лаборатории физиологии и генетики микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (Антиоксидантные..., 2009).

Способность растительных экстрактов к связыванию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) определяли спектрофотометрическим методом (Antioxidant..., 2005). Радикал-связывающую активность (РСА) рассчитывали по формуле:

$$РСА (\%) = (1 - \text{поглощение образца} / \text{поглощение контроля}) \times 100.$$

$IC_{50}$  – концентрация субстрата (мг/г), при которой 50% радикалов связывается с тестируемым образцом. Для расчета  $IC_{50}$  выбирали отрезок между двумя точками на прямолинейном участке графика «доза–эффект».

Способность экстрактов к хелатированию ( $Fe^{2+}$ ) определяли спектрофотометрическим методом (Evaluation..., 2005). Хелатирующую способность (ХС) рассчитывали по формуле:

$$ХС (\%) = (1 - \text{поглощение образца} / \text{поглощение контроля}) \times 100.$$

$EC_{50}$  – концентрация субстрата (мг/г), при которой ионы  $Fe^{2+}$  хелатируются на 50%, рассчитывалась, как указано выше для  $IC_{50}$ .

Для определения суммарного содержания фенольных соединений использовали реактив Фолина-Чокальтеу (Antioxidant..., 2006). Результаты определения выражали в мг-эквивалентах галловой кислоты на грамм воздушно-сухого экстракта.

Антиоксидантную активность экстрактов оценивали по их способности поддерживать аэробный рост двух штаммов бактерий *Escherichia coli* NM3021 и NM3041, несущих генные слияния *katG::lacZ* и *rpoS::lacZ* соответственно, в присутствии 2 или 4 мМ перекиси водорода. Полученные экспериментальные данные использовали для подсчета удельной скорости роста ( $\mu$ ):

$$\mu = \Delta \ln OD_{600} / \Delta t,$$

где  $OD_{600}$  – оптическая плотность среды,  $t$  – время в часах.

Уровень экспрессии генных слияний *katG::lacZ* и *rpoS::lacZ* в культуре *Escherichia coli* определяли путем измерения активности β-галактозидазы с применением модифицированного метода Миллера (Оценка..., 2014). Активность (АГ) выражали в единицах Миллера, рассчитанных по формуле:

$$АГ = (OD_{420} - 1.75 \times OD_{550} / OD_{600}) \times 100,$$

где  $OD_{420}$  и  $OD_{550}$  – оптическая плотность образцов,  $OD_{600}$  – оптическая плотность бактериальной культуры, 100 – коэффициент, учитывающий продолжительность экспозиции с 2-нитрофенил β-D-галактопиранозидом и разведение исходной культуры.

Исследования противоопухолевой активности проводили в НИИ канцерогенеза Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН (к.б.н. В.П. Дерягина, к.б.н. Н.И. Рыжова, Москва). Эксперимент осуществляли на мышах-самцах линии BDF и гибридах  $F_1(C_{57}V1 \times CBA)$ , предоставленных питомником лабораторных животных «Столбовая» РАМН. Тесты проводили на штаммах опухолей карциномы Эрлиха (КЭ) и метастазирующей карциномы легких Льюиса (КЛЛ), полученных из банка Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН. Ингибирующий эффект оценивали по торможению роста опухоли (ТРО), определяемому по объему и массе опухолей у животных опытных групп по сравнению с контролем:

$$ТРО = [(v_{оп} - v_{к}) / v_{к}] \times 100\%,$$

где  $v_{к}$  и  $v_{оп}$  – средний объем опухоли в контрольной и опытной группах соответственно, мм<sup>3</sup>.

Статистическую обработку проводили с помощью программ Excel из пакета Microsoft Office 2010 и Gnumeric ver. 1.10.16. Для оценки достоверности полученных результатов применяли *t*-критерий Стьюдента и Уилкоксона-Манна-Уитни, различия считали значимыми при  $p < 0.05$ .

### Глава 3

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШНИТТ-ЛУКА В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

В Республике Коми родовой комплекс *Allium* насчитывает всего три вида – *A. schoenoprasum* L. (лук скорода, л. резанец, шнитт-лук), *A. angulosum* L. (л. угловатый, л. ребристый, л. луговой) и *A. strictum* Schrad. (л. торчащий, л. прямой). Последний растет в труднодоступных местах по известняковым обнажениям у рек Кожим, Щугор и Илыч (Флора..., 1976). В пределах своих ареалов указанные виды встречаются с неодинаковым постоянством. Охраняемые виды – лук угловатый и л. прямой – занесены в региональную Красную книгу (2019) и находятся в резервации национального парка «Югыд ва» и в Печоро-Илычском государственном природном биосферном заповеднике, а также Государственном природном заказнике «Лемвинский» Интинского района и Вуктыльском ботаническом заказнике, где ведется мониторинг состояния ценопопуляций.

Ареал шнитт-лука очень широк – от Восточной Европы до Дальнего Востока и Средней Азии (Флора..., 1976), произрастает он и в районах Крайнего Севера, заходя в Арктику до 75° с.ш. (рис. 13). Встречается на лугах, в долинах и на каменистых скло-

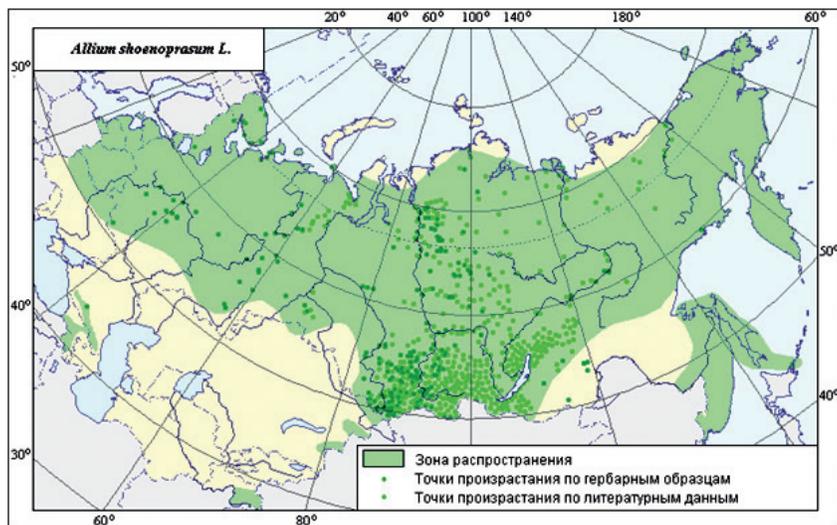


Рис. 13. Распространение шнитт-лука на территории России (www.agroatlas.ru).

нах, в арктических и умеренных областях Северного полушария (Полетико, Мишенкова, 1967). *A. schoenoprasum* включен в Красные книги Республики Беларусь (2005), Латвийской Республики (2005), Республики Удмуртия (2001), Республики Карелия (2009), Ленинградской (2000), Липецкой (2006) и Томской областей (2002), Ханты-Мансийского автономного округа (2003), городов Москва (2001) и Санкт-Петербург (2004).

В Республике Коми шнитт-лук растет повсеместно – в Большеземельской тундре, на Полярном, Приполярном и Северном Урале; на юге доходит до р. Вычегда (Флора..., 1976; рис. 14). Произрастает он группами на каменистых отмелях рек среди несомкнутой растительности и на пойменных задернованных кочкарно-осоковых лугах, среди прибрежных ивняков с лабазником (*Filipendula vulgaris* Moench) и вероникой длиннолистной (*Veronica longifolia* L.), на разнотравно-хвощовых лугах с лютиком ползучим (*Ranunculus repens* L.). По нашим данным, шнитт-лук встречается в сообществе растений субальпийского луга (Приполярный Урал, бассейн р. Паток), на бечевниках (Печоро-Илычский заповедник, вдоль р. Илыч; национальный парк «Югыд ва», вдоль р. Кожим), на травянистых и песчано-галечниковых бечевниках (Усть-Цилемский район, вдоль р. Цильма), на травянистых бечевниках и выходах известняковых пород (окрестности г. Воркута, вдоль рек Воркута и Уса) (рис. 3-9 – см. вклейку).

По занимаемому ареалу шнитт-лук является голарктическим видом. По экологии его относят к группе гигрофитов, чьи местообитания приурочены к азональным типам растительности (заливные луга, берега болот, рек). Широкое распространение шнитт-лука связано с высокими приспособительными свойствами этого вида. Он встречается в арктической тундре и лесотундре, горной тундре, темнохвойных лесах, альпийских и субальпийских лугах.

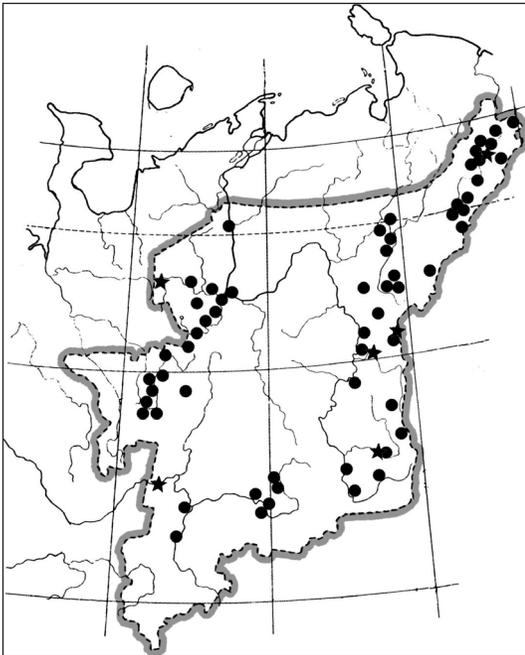


Рис. 14. Места произрастания шнитт-лука в Республике Коми: ● – по данным литературы (Флора..., 1976) и Научного гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН; ★ – данные авторов.

Шнитт-лук – один из немногих видов, который играет существенную роль в формировании растительного покрова. В сообществах альпийских и высокогорных лугов он может быть доминантом и субдоминантом. В высокогорном поясе Алтая (верхняя часть субальпийского пояса Тарбагатая) по понижениям рельефа отмечены луково-манжетковые ассоциации шнитт-лука совместно с манжеткой кривобокой – *Alchemilla cyrtoleura* Juz. (Степанова, 1962; Черемушкина, 2004). Имея голарктический ареал, он также доминирует на равнинах в сообществах пойм северных рек. Как большинство видов рода *Allium*, шнитт-лук – светолюбивое растение и растет на открытых и хорошо освещенных равнинных участках и в горах. По характеру сезонного развития шнитт-лук – длительновегетирующий летне-зеленый весеннецветущий феноритмотип. Длительность жизни его ассимиляционной поверхности зависит от условий обитания. Начало и конец вегетации определяет длительность вегетационного периода. Для его местообитаний характерен непродолжительный вегетационный период с максимальными осадками в виде дождя в течение лета (Черемушкина, 2004).

По жизненной форме шнитт-лук относят к корневищным растениям, поскольку он имеет сильно выраженное многолетнее корневище – видоизмененный стебель со слабо развитыми луковицами, выполняющее функцию запасующего органа (Юрьева, Кокорева, 1992). Большинство исследователей относят шнитт-лук к безлуковичным видам. Однако по данным В.А. Черемушкиной (2004), строение подземной части побега этого вида зависит от экологических условий местообитания и может изменяться в разные сезоны года. Так, у высокогорных особей шнитт-лука обнаружены луковицы с четко выраженной запасной чешуей.

Листья шнитт-лука узкие, шиловидные, трубчатые, небольшого диаметра, темно-зеленого цвета. Соцветия округлой или овальной формы. Окраска венчика цветка бледно-розовая или светло-фиолетовая (см. вклейку: рис. 15). Семена угловатые, черные, сохраняют всхожесть два-три года. Масса 1000 семян – от 0.47 до 1.63 г (Юрьева, Кокорева, 1992; Волкова, 2007). В 1 г содержится до 800 семян, всхожесть которых сохраняется до трех лет, иногда, при особо благоприятных условиях, и больший срок (Жазакова, 1978; Юрьева, Кокорева, 1992). Стебель округлый, высотой 25-60 см. Подземная часть шнитт-лука состоит из мелких продолговатых ложных луковичек (15-20 шт.) коричневатого-белого или фиолетово-красного цвета, прикрепленных к короткому корневищу. Размножается семенами и вегетативно – делением куста. По биологическим и морфологическим особенностям шнитт-лук далек от л. репчатого и л.-батуна, не скрещивается с ними.

Шнитт-лук – многолетнее растение, имеет много форм и разновидностей, очень морозостойкий, не вымерзает даже в условиях Крайнего Севера. Весной отрастает рано, всходы переносят заморозки до  $-4^{\circ}\text{C}$ . На одном месте может расти до 10 лет, но наибольший урожай получают от двух-трехлетних растений. В беспереса-

дочной культуре представляет собой плотный куст своеобразной неправильной округлой формы (Юрьева, Кокорева, 1992; Черемушкина, 2004). В открытом грунте урожай листьев шнитт-лука второго года составляет 15-20 т/га. Для условий Новосибирска при четырех срезках за сезон урожай листьев на трехлетней плантации составил 30-40 т/га (Гринберг, 1985). Обычно в культуре шнитт-лук выращивают не более четырех-пяти лет, так как позднее куст становится очень плотным, растения угнетают друг друга, и урожай падает.

## Глава 4

# БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МИКРОНУТРИЕНТЫ В ШНИТТ-ЛУКЕ

### 4.1 Липиды: компонентный и жирнокислотный состав

Нейтральные липиды (НЛ), полученные нами из разных частей растения, представляли собой маслообразные жидкости или воскообразную массу со специфическим запахом. НЛ листьев окрашены в зеленый цвет из-за частичного извлечения хлорофиллов. Липиды семян по консистенции и коэффициенту преломления напоминали оливковое масло ( $n_D^{20} = 1.474$ ), их среднее содержание составляло 6.2%, максимальное достигало 8.2% (рис. 16). Относительно высокое содержание НЛ в листьях (в среднем 1.21%) связано с присутствием в них желтых и зеленых пигментов, которые частично извлекаются при экстракции неполярными растворителями. Сведения о содержании липидов в луках довольно противоречивы. По некоторым данным, содержание общих липидов в зависимости от вида лука составляет от 0.15 до 0.42% сырой массы (Дейнеко, 1985). По данным Л.А. Тухватуллиной (2010), листья шнитт-лука, интродуцированного в Республике Башкортостан, содержат 5.29% липидов, а его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* – 6.79% абсолютно сухой массы. Наименьшим содержанием НЛ от-

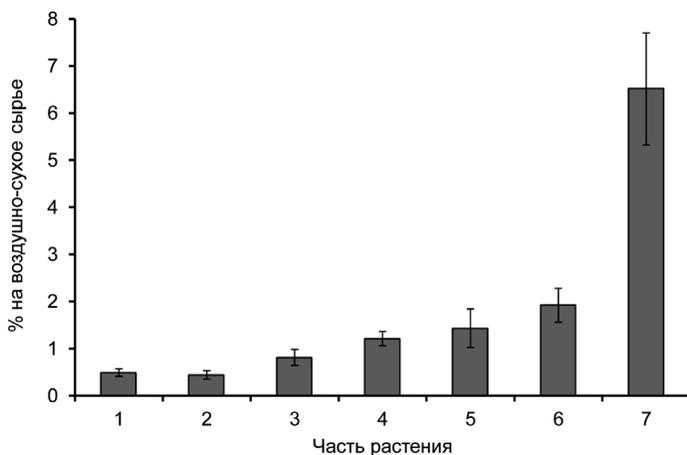


Рис. 16. Содержание нейтральных липидов в различных частях растения *A. schoenoprasum*: 1 – корни; 2 – луковичи; 3 – покровные чешуи; 4 – листья; 5 – бутоны; 6 – соцветия; 7 – семена.

личались луковицы (0.44%) и корни (0.49%). По нашим данным, интродуцированный в БС лук *A. angulosum* содержит от 0.15 до 0.52% НЛ в луковицах и от 0.7 до 1.1% в листьях на сухое вещество (Жирнокислотный..., 2010). В листьях и луковицах *A. strictum* содержится 1.41 и 0.5% НЛ соответственно (Ширшова и др., 2010).

ТСХ-анализ показал, что основными компонентами липидных фракций лука являются стерины ( $R_f = 0.18$ ) и их эфиры ( $R_f = 0.8$ ), свободные жирные кислоты ( $R_f = 0.36$ ) и их эфиры ( $R_f = 0.48$ ), триацилглицерины ( $R_f = 0.57$ ). В НЛ семян триацилглицерины являются основным компонентом, в разных частях лука обнаружены также различные концентрации моно- и диацилглицеринов.

#### 4.1.1 Высшие жирные кислоты в составе нейтральных липидов

Известно, что жирные кислоты и их производные вовлечены в регуляцию роста и морфогенеза всех живых организмов, включая и растения, поэтому именно их во многих случаях используют для хемотаксономии растений как биологические маркеры (Розенцвиг и др., 1999). Установлено, что в их состав в основном входят молекулы кислот с длиной цепи  $C_{16}-C_{20}$  и четным числом углеродных атомов. Их распределение по частям растения имеет свои закономерности (рис. 17). Главными по содержанию во всех частях растения являются олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты, суммарное содержание которых составляет 53-85% общего количества основных кислот, что согласуется с данными литературы для других видов лука. Например, в луковицах чеснока их сумма достигает 70%, а в надземной зеленой массе лука-порей – 38% (Tsiaganis et al., 2006), но наибольшее суммарное количество

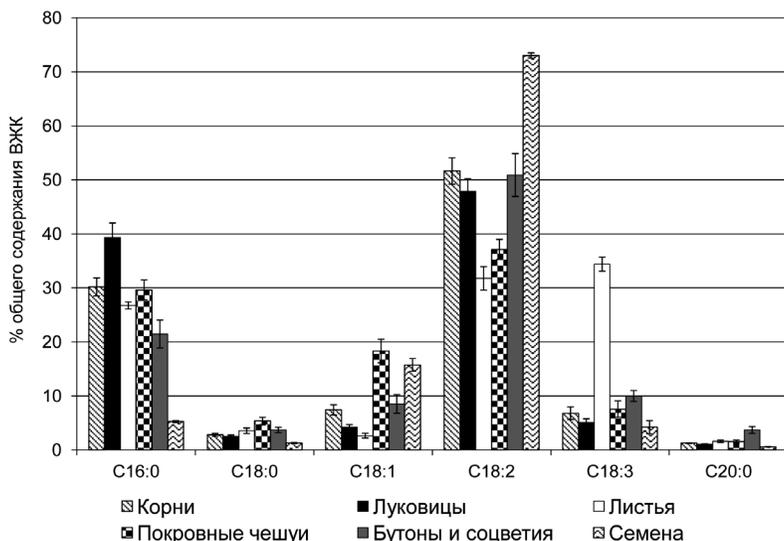


Рис. 17. Содержание высших жирных кислот (ВЖК) в разных частях шнитт-лука.

ненасыщенных ВЖК накапливают семена луков. Так, семена лука репчатого, шнитт-лука, лука-батуна содержат 88-90, 88 и 93% суммы ненасыщенных жирных кислот соответственно (Kowalski, Rodkiewicz, 2009). В исследованном нами шнитт-луке их содержание достигало 93%. Доминирующей является линолевая кислота, содержание которой в семенах составляло 73, в бутонах и соцветиях – 50.9, в корнях – 51.7% суммы основных кислот (рис. 17). В меньших количествах она содержится в луковицах, однако и здесь ее содержание довольно высокое – от 47.9%. Линоленовая кислота в максимальных количествах содержится в листьях лука (34.4%), где она конкурирует с линолевой кислотой. Сумма этих двух ненасыщенных кислот превышает 65%. В остальных частях растения количество линоленовой кислоты не превышает 10%. Олеиновая кислота накапливается в покровных чешуях, где ее содержание достигает 18.3%. Из насыщенных кислот преобладает пальмитиновая (C16:0), которая в растениях совместно со стеариновой (18:0) кислотой участвует в биосинтезе ненасыщенных ВЖК. Наиболее высокое содержание пальмитиновой кислоты характерно для луковиц, где оно достигает 40%. Насыщенные стеариновая и арахиновая (C20:0) кислоты обнаружены в незначительных количествах.

#### 4.1.2 Стерины в составе нейтральных липидов

Все липиды как растительного, так и животного происхождения содержат стерины. Однако если животные стерины в основном состоят из холестерина, наиболее часто встречающимися стеринами в растениях (фитостеринами) являются ситостерин и стигмастерин. Холестерин чаще образуется в семенах растений. Как известно, фитостерины накапливаются в клеточных стенках, где стабилизируют фосфолипидный бислой клеточной мембраны путем снижения вязкости липидного слоя. Кроме того, они участвуют в защите растений от солевого стресса и являются эссенциальными в делении растительных клеток (Moreau et al., 2002; Биологически..., 2010). Фитостерины оказывают разностороннее действие на организм человека. Они ингибируют абсорбцию холестерина в кишечнике, снижая уровень липопротеинов низкой плотности в крови (Ling, Jones, 1995; Weststrate, Meijer, 1998; Brufau et al., 2008). Благодаря этому фитостерины снижают риск атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, они обладают противовоспалительным, иммуномодулирующим, антиоксидантным и антиканцерогенным действием (Awad, Fink, 2000; A comparative..., 2000; Bouic, 2001; Wang et al., 2002).

Анализ стериновой фракции методом ВЭЖХ показал, что основными ее компонентами являются ситостерин, холестерин и стигмастерин, причем превалирует по содержанию ситостерин со временем удерживания  $t_R = 20'41''$  (рис. 18). Наличие ситостерина как основного компонента стериновой фракции было подтверждено методом хромато-масс-спектрометрии. Веществу со временем удерживания, совпадающим с ситостерином (35.94 мин), со-

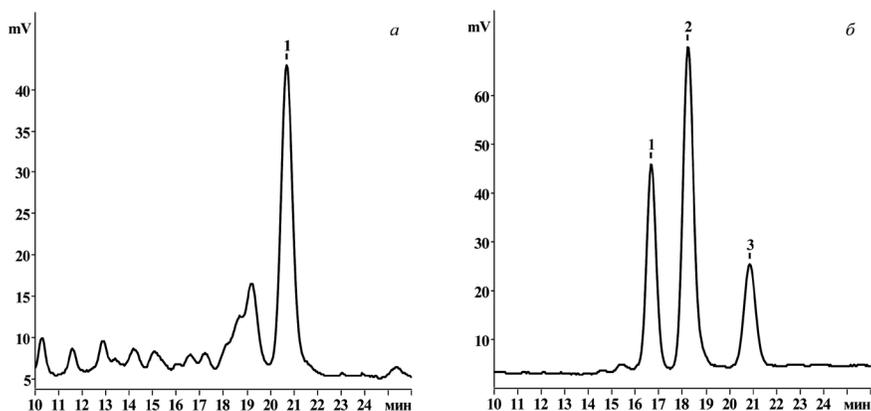


Рис. 18. ВЭЖХ-анализ очищенной стериновой фракции нейтральных липидов: а – хроматограмма стериновой фракции (пик 1 со временем удерживания  $t_R = 20'41''$  соответствует ситостерину); б – стандартная смесь стеринов (пик 1 соответствует холестерину со временем удерживания  $t_R = 16'41''$ , пик 2 – стигмастерину с  $t_R = 18'14''$ , пик 3 – ситостерину с  $t_R = 20'51''$ ).

ответствовал самый интенсивный пик. Масс-спектр этого пика содержит молекулярный ион с  $m/z = 414$ . Сравнение полученного спектра с библиотекой масс-спектров NJST05 показало, что он полностью совпадает со спектром ситостерина. Методом хромато-масс-спектрометрии было подтверждено наличие холестерина ( $t_R = 33.69$  мин), а также обнаружено незначительное содержание других растительных стеринов – кампестерина ( $t_R = 34.88$  мин) и стигмастерина ( $t_R = 35.12$  мин), наличие которых ВЭЖХ-анализом не было обнаружено.

Фосфолипиды были выделены из общих липидов семян шнитт-лука. Содержание общих липидов, полученных по методу Фолча (Folch et al., 1957; Кейтс, 1975), составило 17% сухого вещества, модифицированный нами метод (Ширшова и др., 2008) позволил повысить этот выход до 20%. Массовая доля фосфолипидов составила 2.9% массы общих липидов, или 0.58% воздушно сухой массы семян. Фосфолипиды представляют собой парафинообразную массу бежевого цвета со специфическим запахом. Методом тонкослойной хроматографии в различных системах растворителей с использованием разных проявителей установлено, что основными компонентами фосфолипидов семян шнитт-лука являются фосфатидилэтаноламин, фосфатидилхолин и фосфатидилсерин.

#### 4.2 Стероидные гликозиды

Растения рода *Allium* считают перспективными в плане поиска сапониноносных представителей флоры. Сведений в литературе о содержании СГ в шнитт-луке нами не было обнаружено, были приведены лишь предварительные данные, которые указывали на наличие сапонинов в этом виде (Крохмалюк и др., 1974).

Нами с целью выявления наиболее перспективных видов для использования их в качестве сырья при получении медицинских препаратов стероидной и липидной природы и/или пищевых добавок, богатых витаминами, незаменимыми ВЖК и другими полезными биологически активными веществами, был проведен анализ содержания различных групп биологически активных веществ, в том числе сапонинов, в девяти видах лука из коллекции БС (л. слизун, лук-порей, л. душистый, шнитт-лук, л. нарциссоцветный – *A. narcissiflorum* Wells., л. исполинский – *A. giganteum* Regel., л. яйлинский – *A. jaylae* Vved., л. комаровский – *A. komarovianum* Vved., л. победный вар. узколистный – *A. victorialis* var. *angustifolium* Hook.), выделены индивидуальные СГ фууро- и спиростаноловой природы, в том числе дельтозид и протодиосцин, а также генин большинства спиростаноловых гликозидов диосгенин (Ширшова, Волкова, 2006).

Наибольшее количество СГ выделено из корней, соцветий и бутонов (табл. 3). Согласно данным литературы, максимальное содержание спиростаноловых гликозидов в растениях рода *Allium* обнаружено в подземных органах, соцветиях и семенах (Стероиды..., 1990). В нашем случае наибольшее количество этих веществ найдено в корнях природных образцов (обр. 7 и 10), где содержание суммы гликозидов составило 6.63 и 4.07% массы воздушно сухого сырья соответственно. В листьях шнитт-лука содержание суммы СГ составляет от 1.42 до 2.49%. Необходимо отметить, что кроме гликозидов сумма экстрактивных веществ листьев содержит довольно много примесей, к числу которых можно отнести желтые (каротин) и зеленые (хлорофиллы) пигменты.

Таблица 3

**Доля суммы экстрактивных веществ, содержащих спиро- (верхняя строка) и фуоро- (нижняя строка) гликозиды в шнитт-луке, % сухой массы**

Часть растения	Номер образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Корни	3.07	0.88	0.96	0.93	0.93	0.58	6.63	1.6	–	1.07	0.34
	2.07	2.63	0.69	0.86	4.26	4.68	2.42	2.15	–	1.68	–
Луковицы	1.79	0.31	0.57	1.83	1.23	0.55	1.56	0.79	–	4.07	0.80
	0.89	1.06	0.80	2.26	1.74	4.60	2.58	1.49	–	1.65	–
Покровные чешуи	0.55	0.49	0.49	0.63	–	1.60	0.56	0.60	–	0.95	0.31
	0.96	0.60	0.54	0.30	–	1.95	0.74	0.74	–	0.48	–
Листья	2.00	0.37	1.42	2.32	2.00	1.46	2.40	1.95	–	1.29	2.40
	2.06	1.33	2.14	1.85	3.41	2.86	3.24	3.18	–	2.52	–
Бутоны	–	1.53	0.86	0.78	0.30	2.20	–	2.66	–	–	0.64
	–	3.62	3.94	3.47	5.49	–	–	–	–	–	–
Соцветия	–	2.24	–	2.15	2.50	0.74	–	–	1.19	2.32	–
	–	3.32	–	4.17	7.12	1.10	–	6.23	5.11	5.84	–
Семена	–	0.87	–	0.58	0.33	4.43	–	–	–	–	–
	–	0.82	–	1.12	0.42	0.09	–	–	–	–	–

*Примечание.* Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2; прочерк означает, что экстракция не проводилась.

Методом ТСХ обнаружено наличие в разных частях растения от четырех до шести веществ, из которых два можно отнести к гликозидам фураностанолового типа (табл. 4). В наиболее полярной системе I на пластинах «Sorbfil» в корнях, луковицах и бутонах обнаружены несвязанный диосгенин ( $R_f = 0.87$ ), спиростаноловый гликозид дельтонин ( $R_f = 0.60$ ) и два фураностаноловых гликозида – дельтозид и протодиосцин ( $R_f = 0.27$  и  $0.31$  соответственно). По-видимому, при осаждении спиростаноловых гликозидов из суммы происходит частичный захват фураностаноловых гликозидов, обнаруженных при помощи реактива Эрлиха. В покровных чешуях и листьях был также обнаружен агликон смилагенин. В менее полярной системе III на пластинах фирмы «Merck» были получены аналогичные результаты. Во всех частях растения (кроме корней) обнаружены несвязанный диосгенин и дельтонин, а также неидентифицированные вещества с  $R_f = 0.60$  и  $0.53$ . В покровных чешуях и бутонах обнаружено вещество с  $R_f = 0.58$ .

Таблица 4

Коэффициенты подвижности ( $R_f$ ) компонентов  
суммы стероидных гликозидов из разных частей шнитт-лука

Анализируемый образец	Система I, «Sorbfil»	Система III, «Merck»
Стандарты:		
Смилагенин	0.90	0.70
Диосгенин	<b>0.87</b>	<b>0.68</b>
Дельтонин	<b>0.60</b>	<b>0.28</b>
Протодиосцин	<b>0.31</b>	–
Дельтозид	<b>0.27</b>	–
Корни	<b>0.88</b>	<b>0.68</b>
	0.81	0.60
	<b>0.59</b>	0.53
	<b>0.30</b>	0.48
	<b>0.26</b>	0.41
Луковицы	0.18	0.15
	<b>0.87</b>	<b>0.68</b>
	0.85	0.60
	<b>0.64</b>	0.53
Покровные чешуи	<b>0.27</b>	<b>0.28</b>
	0.18	–
	0.90	<b>0.68</b>
	0.82	0.60
	<b>0.60</b>	0.58
Листья	<b>0.31</b>	<b>0.28</b>
	<b>0.25</b>	–
	0.18	–
	0.89	<b>0.68</b>
	<b>0.85</b>	0.60
Бутоны	<b>0.65</b>	0.53
	0.44	<b>0.28</b>
	<b>0.27</b>	0.19
	0.19	–
	<b>0.86</b>	<b>0.68</b>
Бутоны	0.85	0.60
	<b>0.63</b>	0.58
	–	<b>0.28</b>

Полученная сумма спиростаноловых гликозидов была разделена на узкие фракции при помощи колоночной хроматографии, анализ которых методом ВЭЖХ показал присутствие в них диосгенина ( $t_R = 7'06''$ ), дельтонина ( $t_R = 6'48''$ ) и неидентифицированного вещества с  $t_R = 8'36''$  (сапонин А).

Методом ВЭЖХ (табл. 5) в корнях, околоплодниках и семенах обнаружен дельтонин (время удерживания  $t_R = 8'42''$ ). В корнях, кроме того, содержится сапонин А, найденный также в луковицах и листьях. В листьях и покровных чешуях найден диосгенин ( $t_R = 7'06''$  и  $7'08''$  соответственно).

После проведенного кислотного гидролиза суммы спиростаноловых гликозидов в эфирных экстрактах гидролизатов методами ТСХ и обращенно-фазовой ВЭЖХ был обнаружен диосгенин, наличие которого подтверждено при помощи метода внутреннего стандарта. После введения в исследуемый образец диосгенина пик со временем его удерживания увеличился пропорционально введенному количеству (рис. 19).

Наличие в эфирных экстрактах диосгенина было подтверждено методом газо-жидкостной хроматографии с совмещенным масс-спектрометрическим детектором. Масс-спектр вещества со временем удерживания, совпадающим с диосгенином (EI, 70 эВ)  $m/z$  ( $I_{rel}, \%$ ): 414 ( $M^+$ , 3), 355 (3), 342 (7.5), 300 (13.4), 282 (41), 271 (17.2), 253 (7.5), 159 (8.2), 145 (9), 139 (100), 121 (11.6), 115 (19.4), 105 (13.4), 91 (14.2), 79 (13.4), 69 (30.6), 55 (20.9), где пик со значением  $m/z = 414$  соответствует молекулярный ион  $M^+$  диосгенина. Это подтверждается сравнением полученных данных с данными базы спектров библиотеки NIST05. На основании этих данных можно утверждать, что агликоном спиростаноловых гликозидов шнитт-лука является диосгенин.

Анализ водного раствора гидролизата методом ВЭЖХ позволил обнаружить два пика, соответствующих по времени удерживания L-рамнозе ( $t_R = 7'47''$ ) и D-глюкозе ( $t_R = 14'58''$ ) в соотношении 2:1, что характерно для спиростаноловых гликозидов.

Таблица 5

**ВЭЖХ-анализ суммы спиростаноловых гликозидов из различных частей шнитт-лука (время удерживания  $t_R$ , мин)**

Компонент	Корни	Луковицы	Покровные чешуи	Листья	Околоплодники	Семена
НВ	2.74	2.67	2.74	–	–	–
НВ	3.13	–	–	3.07	–	–
НВ	–	–	5.24	–	–	–
Дельтонин	6.48	–	–	–	6.49	6.51
НВ	–	–	–	–	8.22	8.75
Сапонин А	8.36	8.36	–	8.34	–	–
НВ	–	–	9.14	–	–	–
НВ	–	–	–	–	10.22	–

*Примечание.* НВ – неидентифицированное вещество; прочерк означает, что компонент отсутствовал в исследуемой сумме гликозидов.

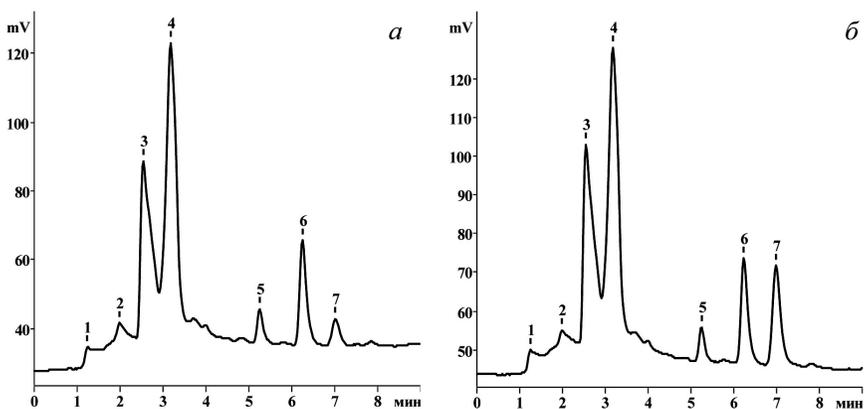


Рис. 19. ВЭЖХ-анализ гидролизата суммы СГ: а – эфирный экстракт; б – экстракт с добавлением диосгенина (пик 7 – диосгенин).

Из водных маточников после отделения центрифугированием спиростаноловых гликозидов экстракцией бутанолом-1 была выделена сумма, содержащая фуростаноловые гликозиды. Количественное содержание суммы фуростаноловых гликозидов находится в диапазоне от 0.02 до 7.12% воздушно сухого сырья. Наибольший выход суммы получен из бутонов (3.6-5.49%) и соцветий (3.32-7.12%). Довольно высоко содержание суммы фуростаноловых гликозидов в корнях, где их количество колеблется от 0.69 до 4.68% (табл. 3). Из литературных источников известно, что наличие фуростаноловых гликозидов характерно для наземных ассимилирующих органов растений – листьев и стеблей (Васильева, Пасешниченко, 2000). Согласно нашим данным, однако, листья исследуемых образцов не отличались высоким содержанием фуростаноловых гликозидов, а в семенах их доля была самой незначительной. Возможно, высокие значения для суммы фуростаноловых гликозидов, особенно из бутонов и соцветий, можно объяснить наличием сахаристых веществ, извлекающихся водно-спиртовыми смесями, что подтверждается карамелизацией сухого остатка при упаривании экстрактов.

В полученной после гель-фильтрации очищенной сумме фуростаноловых гликозидов методом тонкослойной хроматографии было обнаружено четыре пятна с  $R_f = 0.11, 0.27, 0.45$  и  $0.70$ . По хроматографической подвижности вещество с  $R_f = 0.27$  соответствует дельтозиду. Методом ВЭЖХ были обнаружены два гликозида фуростаноловой природы – дельтозид ( $t_R = 13'12''$ ) и протодиосцин ( $t_R = 14'22''$ ).

Дельтозид и выделенный вместе с ним из корневищ и культуры клеток диоскореи дельтовидной (*Dioscorea deltoidea*) дельтонин имеют одинаковое строение гликозидного остатка у C3. К C26 в молекуле дельтозида присоединена молекула D-глюкозы (рис. 20). Второй фуростаноловый сапонин – протодиосцин, ранее выделенный из листьев и культуры клеток *D. deltoidea* (Васильева, Пасеш-

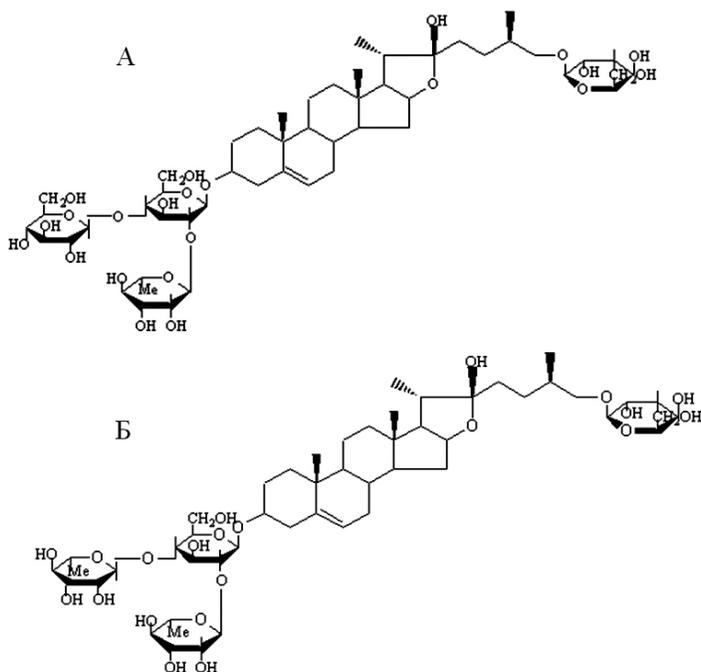


Рис. 20. Структурные формулы дельтозида (А) и протодиосцина (Б).

ниченко, 1995), подобно дельтозиду, является производным (25R)-фурост-5-ен-3 $\beta$ ,22,26-триола, у которого к гидроксильной группе при С26 присоединена молекула D-глюкозы, а углеводная часть у С3 состоит из молекулы D-глюкозы и двух молекул L-рамнозы (Кинтя, Лазурьевский, 1979; Химия..., 1986; Пасешниченко, Васильева, 1995).

Таким образом, из шнитт-лука нами были выделены СГ спиростаноловой и фураностаноловой природы – дельтонин, дельтозид и протодиосцин, структура которых подтверждена методами ВЭЖХ и хромато-масс-спектрометрии, а также сапонин А, структура которого выясняется. Показано, что генином СГ является диосгенин, который обнаружен как в несвязанном состоянии, так и в продуктах гидролиза суммы СГ.

В 2013 г. была опубликована работа французских и японских ученых, которая подтвердила результаты наших исследований (Structure..., 2013). Из шнитт-лука ими были выделены и идентифицированы современными физико-химическими методами восемь СГ, из которых четыре неизвестных ранее соединения спиростанолового ряда, а также дельтонин и дельтозид. Для новых соединений показано их цитотоксическое действие.

### 4.3 Азотистые вещества

Одним из важнейших элементов растений является азот, который входит в состав многих биологически активных веществ, в том числе аминокислот и алкалоидов. Азотистые вещества составляют от 2.2 до 4.5% надземной части различных видов лука (Делова, 1959; Корневищные..., 1992). Содержание азота в листьях корневищных луков в фазе потребительской спелости колеблется от 2.2 до 3.0% (Корневищные..., 1992), в листьях шнитт-лука оно составляет 3.7-4.5, а в луковичах – 2.8-4.5% сухой массы (Делова, 1959). Собственно белковый азот в луковиче достигает 50% общего азота.

Содержание азота в исследованном нами шнитт-луке варьирует в довольно широких пределах – от 0.46 до 5.0% сухой массы (табл. 6). Наибольшим количеством азотистых веществ отличаются культивируемые растения из коллекции Ботанического сада в фазе отрастания. В сухой массе листьев и лукович содержание азота составляет 3.5 и 4.2% (обр. 1) и 4.3 и 5.0% соответственно (обр. 21). Наименьшее содержание азота обнаружено в луковичах дикорастущего лука (обр. 34-36) из Усть-Цилемского района, что может быть связано в том числе и с более суровыми климатическими условиями местообитания растений (табл. 6). Довольно существенное различие в содержании общего азота в луковичах и листьях растений, собранных на Приполярном Урале на разной высоте (585 и 615 м над ур.м.) – 3.3 и 2.9% (обр. 7, фаза бутонизации-цветения) и 2.2 и 1.7% массы сухого вещества (обр. 8, фаза цветения), может быть обусловлено влиянием эколого-географических и эдафических факторов экотопов этих двух местообитаний. Не следует исключать и влияние высоты места произрастания. Так, в более ранних работах (Шифрина, 1961) уже было показано, что выращивание лука в одном и том же районе, но на разной высоте над уровнем моря, влияет на его химический состав. При этом было отмечено, что с увеличением высоты местности сахаристость салатных сортов лука репчатого повышалась, а содержание белка снижалось. Доля азота аминокислот в луковичах обр. 8 была очень высока, достигала 82.9%.

Для культивируемых растений шнитт-лука, его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. была исследована сезонная динамика содержания общего азота в листьях и луковичах (табл. 7). Для шнитт-лука и его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* максимальное содержание общего азота как в листьях, так и в луковичах обнаружено в фазе отрастания, когда идут активные биохимические процессы, а к фазе плодоношения оно снижалось. Для сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. максимальное количество общего азота в листьях обнаружено в фазе цветения, к фазе плодоношения оно также снижалось. В луковичах к фазе бутонизации и цветения содержание общего азота незначительно снижалось по сравнению с фазой отрастания и повышалось к фенофазе плодоношения.

Таблица 6

## Содержание азота в листьях и луковичах шнитт-лука

Номер образца	Содержание общего азота, % массы сухого вещества		Содержание азота аминокислот, % общего азота	
	Луковица	Лист	Луковица	Лист
1	3.5	4.2±0.4	68.7	62.0
2	0.8±0.13	1.4±0.21	57.2	52.1
5	2.9	4.3±0.4	67.7	78.3
6	0.9±0.14	2.0±0.29	64.1	67.8
7	3.3	2.9	69.1	61.2
8	2.2±0.3	1.7±0.26	82.9	62.0
10	1.3±0.20	1.0±0.15	58.5	58.5
12	2.1±0.3	3.0±0.3	60.4	65.7
13	1.9±0.28	2.2±0.3	59.8	76.5
14	1.7±0.26	1.4±0.21	53.9	60.7
15	1.0±0.15	1.0±0.15	60.2	47.1
16	1.0±0.15	1.8±0.28	54.1	50.0
17	0.7±0.12	1.4±0.21	51.0	57.8
18	1.6±0.24	1.5±0.27	62.6	52.0
19	0.8±0.13	0.9±0.14	52.8	51.3
20	0.9±0.14	1.4±0.21	51.6	65.1
21	5.0±0.5	4.3±0.4	65.3	72.1
22	0.9±0.14	2.1±0.3	59.3	75.6
23	1.03±0.15	1.84±0.28	73.7	63.7
24	1.24±0.19	1.37±0.21	74.5	58.6
25	1.08±0.16	1.74±0.26	63.8	78.2
26	0.91±0.14	1.70±0.26	48.9	81.0
27	0.98±0.15	2.2±0.3	65.4	74.1
28	0.66±0.10	1.66±0.25	66.0	70.0
29	1.59±0.24	2.54±0.25	62	71.3
30	0.98±0.15	2.1±0.3	55.5	69.7
31	0.99±0.15	2.1±0.3	70.8	67.6
32	1.18±0.18	1.6±0.24	74.9	69.4
34	0.59±0.09	1.15±0.17	38.8	50.9
35	0.67±0.12	1.04±0.19	45.6	48.8
36	0.46±0.08	0.91±0.16	51.1	65.1
39	1.8±0.3	0.78±0.14	79.7	48.6
40	0.58±0.10	1.24±0.22	74.7	58.9
41	—	1.52±0.27	—	52.2
42	1.06±0.19	1.42±0.26	63.2	77.9

Примечание. Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2.

Наблюдается различие в сезонных изменениях содержания общего азота в луковичах и листьях шнитт-лука и лука репчатого. В луке репчатом луковица является запасующим органом, поэтому с ее созреванием идет накопление азотистых соединений, в то время как в листьях оно уменьшается (Шифрина, 1961). У исследованных нами растений в ходе вегетационного периода количество общего азота уменьшалось и в листьях, и в луковичах. Содержание азота аминокислот в шнитт-луке значительно превышало приведенные в литературе данные, согласно которым доля азота аминокислот в разных видах многолетних луков составляет

Таблица 7

Содержание общего азота (% воздушно сухой массы, верхняя строка)  
и азота аминокислот (% общего азота, нижняя строка)  
в луковицах и листьях шнитт-лука в разные фенофазы

Фенофаза	Вид, сорт, разновидность					
	<i>A. schoenoprasum</i>		<i>A. schoenoprasum</i> cv. Prazska Krajova		<i>A. schoenoprasum</i> var. major	
	Луковица	Лист	Луковица	Лист	Луковица	Лист
Отрастание	5.0±0.5	4.3±0.4	1.08±0.16	1.74±0.26	1.59±0.24	2.54±0.25
	65.3	72.1	63.8	78.2	62	71.3
Бутонизация	0.9±0.14	2.1±0.3	0.91±0.14	1.70±0.26	0.98±0.15	2.1±0.3
	59.3	75.6	48.9	81.0	55.5	69.7
Цветение	1.03±0.15	1.84±0.28	0.98±0.15	2.2±0.3	0.99±0.15	2.1±0.3
	73.7	63.7	65.4	74.1	70.8	67.6
Плодоношение	1.24±0.19	1.37±0.21	0.66±0.10	1.66±0.25	1.18±0.18	1.6±0.24
	74.5	58.6	66.0	70.0	74.9	69.4

52.6% общего азота (Шифрина, 1955). В большинстве исследованных нами растений шнитт-лука содержание азота аминокислот достигало 57-83% (табл. 6). Наибольшее накопление азота аминокислот было в листьях (обр. 5) – 78.3% и луковицах растений с Приполярного Урала (обр. 8) – 82.9%. Доля азота аминокислот в листьях уменьшалась при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения с максимумом в фазе бутонизации (табл. 7). В луковицах наблюдали обратную картину: минимальное содержание азота аминокислот в фазе бутонизации повышалось до максимума в фазе плодоношения.

Интересным и мало изученным является аминокислотный состав шнитт-лука. В листьях этого вида, интродуцированного в Новосибирске, было обнаружено 14 свободных аминокислот, в том числе восемь незаменимых (Корневищные..., 1992). Наибольшими по содержанию были глутаминовая кислота (Glu), пролин (Pro) и аспарагин (Asp). Среди незаменимых аминокислот преобладали лейцин (Leu), валин (Val), лизин (Lys) и фенилаланин (Phe). Сведений о содержании протеиногенных аминокислот в шнитт-луке, являющихся строительным материалом белков, необходимых и незаменимых во всех процессах клеточного метаболизма, в литературных источниках нами обнаружено не было.

Все растения способны синтезировать 18 различных аминокислот и два амида аминокислот. Эти 20 соединений являются обычными компонентами почти всех белковых молекул. В последнее время к протеиногенным аминокислотам иногда причисляют так называемые 21 и 22 аминокислоты – трансляционно включаемые селеноцистеин и пирролизин. Нами во всех образцах лука были обнаружены 17 протеиногенных аминокислот (рис. 21). Определение триптофана (18-я аминокислота) в условиях данного метода не производят.

Как показали результаты анализа, в листьях основными по содержанию являются глутаминовая и аспарагиновая кислоты. Глутаминовая кислота является важнейшей заменимой амини-

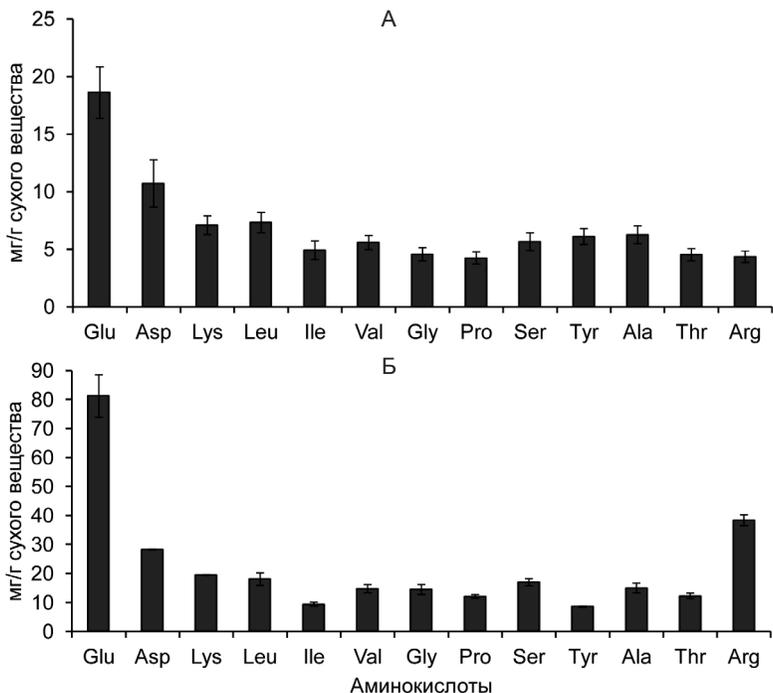


Рис. 21. Содержание протеиногенных аминокислот в листьях (А) и семенах (Б) шнитт-лука.

кислотой, которая входит в состав практически всех природных белков и многих других биологически активных веществ (глутатион, фолиевая кислота, фосфатиды). Особенно высокое содержание этой кислоты в шнитт-луке из коллекции ботанического сада сбора 2009 г. в фазе отрастания (обр. 21), в листьях и луковичах которого содержится 57.24 и 47.32 мг/г сухой массы соответственно. Высокому содержанию глутаминовой соответствует и высокое содержание аспарагиновой кислоты (в среднем оно составляет 10.7 мг/г сухой массы), которая является у растений предшественником в биосинтезе таких незаменимых аминокислот, как метионин, треонин и лизин. Наиболее богаты протеиногенными аминокислотами семена растения, где наряду с доминирующими глутаминовой (81.21 мг/г) и аспарагиновой (28.19 мг/г) кислотами обнаружено высокое содержание аргинина. Если в листьях его содержится 4.34, то в семенах – 38.34 мг/г сухой массы. Способность накапливаться в резервных и зародышевых органах характерна для аргинина, поскольку он участвует в накоплении и переносе азота в живых организмах (Биологический..., 1989). Аргинин является одним из ключевых метаболитов в процессах азотистого обмена млекопитающих. Он стимулирует синтез гормона роста, повышает интенсивность сперматогенеза, препятствует развитию атеросклероза, расширяет сосуды, улучшает коронарное кро-

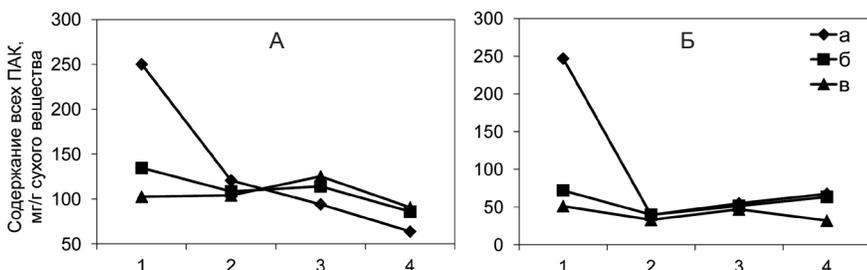


Рис. 22. Содержание протеиногенных аминокислот в листьях (А) и луковичках (Б) культивируемых растений в разные фенофазы: а – *A. schoenoprasum* (БС); б – *A. schoenoprasum* Prazska Krajova; в – *A. schoenoprasum* var. *major* (оба – коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии); 1 – отрастание; 2 – бутонизация; 3 – цветение; 4 – плодоношение.

вообращение и реологические свойства крови, обладает гепатопротекторным, репаративным, заживляющим и выраженным иммуномодулирующим действием.

В меньших количествах содержатся фенилаланин (0.58-8.44), гистидин (0.2-4.26), цистеин (0.02-1.99 мг/г). Содержание метионина колеблется в пределах от 0.02 до 5.2 мг/г. Однако в некоторых образцах он не был обнаружен. Согласно литературным данным, цистеин был найден в свободном виде в луке репчатом (Parthasarathi, Sastry, 1959) и в чесноке (Lee, Harnly, 2005), в шнитт-луке, как и в других видах корневищных луков, он не был обнаружен (Корневищные..., 1992). Результаты наших исследований показали, что в белковых гидролизатах некоторых образцов шнитт-лука содержится цистеин. По-видимому, это является особенностью азотистого обмена исследуемого вида. В большинстве

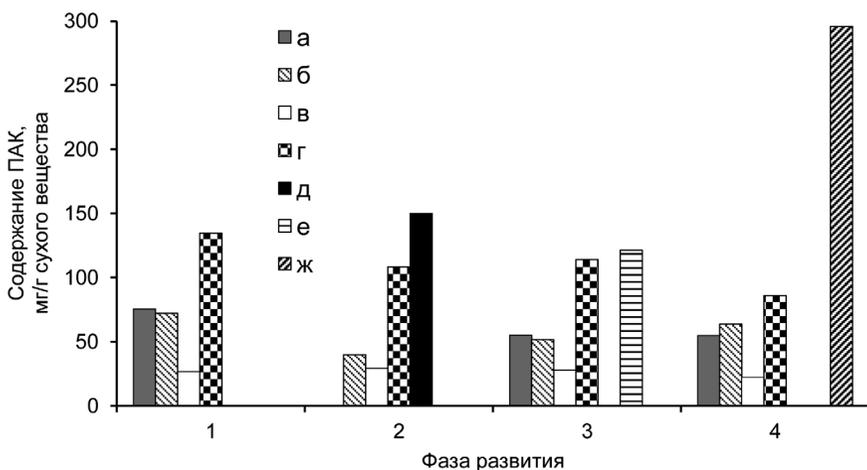


Рис. 23. Содержание протеиногенных аминокислот в разных частях *Allium schoenoprasum* var. *major* в разные фенофазы: 1 – отрастание; 2 – бутонизация; 3 – цветение; 4 – плодоношение; а – корни; б – луковички; в – покровные чешуи; г – листья; д – бутоны; е – соцветия; ж – семена.

случаев количество цистеина колеблется от 0.02 до 1.99 мг/г. Гораздо более значительные количества этой аминокислоты содержатся в семенах – от 7.89 до 14.9 мг/г.

Для вида *A. schoenoprasum*, разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. была исследована сезонная динамика содержания суммы протеиногенных аминокислот (рис. 22). В листьях и луковицах шнитт-лука при переходе из фазы отрастания к фазе плодоношения сумма протеиногенных аминокислот уменьшалась неравномерно. Наиболее резкое снижение наблюдали при переходе от фазы отрастания к фазе бутонизации. В динамике разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. колебания суммы протеиногенных аминокислот менее значительны. Содержание протеиногенных аминокислот в разных частях растения зависит от фазы развития (рис. 23). Если в фазе отрастания они максимально концентрировались в листьях и луковицах, то в последующие фенофазы – в бутонах, соцветиях и семенах.

#### 4.4 Содержание макро- и микроэлементов

Основную массу сухого вещества растений образует органическое вещество, состоящее из органогенных элементов: углерода, водорода, кислорода и азота. Кроме того, в растениях содержится от 5 до 10% зольных элементов, которые включают в себя макро- и микроэлементы (Полевой, 1989; Marschner, 1997; Веретенников, 2002). Содержание макроэлементов в многолетних луках освещено в весьма ограниченном числе публикаций, а вместе с тем исследования подтверждают их важное значение, так как многие из них признаны абсолютно необходимыми для растений. К ним кроме азота относят фосфор, калий, натрий, кальций, магний и серу.

Главным по содержанию макроэлементом для корневищных луков является калий. Его количество в листьях 19 видов интродуцированного в Новосибирске лука колеблется от 1.50 до 2.55%, в шнитт-луке оно достигает 2.39% сухой массы (Корневищные..., 1992). Наряду с азотом и фосфором его относят к главным элементам питания растений. Функция калия в растениях, как и других необходимых для них элементов, строго специфична. В растениях он находится в ионной форме и содержится в основном в цитоплазме и вакуолях клеток. Около 80% калия находится в клеточном соке и может легко вымываться водой, особенно из старых листьев. Молодые органы растений содержат в три-пять раз больше этого макроэлемента, чем старые. Он накапливается в тех органах и тканях, где интенсивно идут процессы обмена веществ и деления клеток. Легкая подвижность калия в растениях обуславливает его реутилизацию путем перемещения из старых листьев в молодые.

Мониторинг содержания калия в культивируемых и природных растениях шнитт-лука Республики Коми показал большой

разброс в значениях: от 9300 до 40 000 мг/кг сухой массы в листьях и от 5600 до 44 000 – в луковицах (табл. 8). Концентра́тором этого элемента являлись листья ( $p < 0.01$ ), в которых самое высокое содержание калия было обнаружено в фазе отрастания. При переходе из фазы отрастания к фазе плодоношения содержание калия как в листьях, так и в луковицах падало (табл. 8, обр. 21-32). Внутри вида наблюдаются различия в содержании калия, которые зависят от сортовой принадлежности. Так, для сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. характерно довольно низкое его содержание по сравнению с исходным видом. При этом в течение всего вегетационного периода в листьях оно оставалось постоянным (18 000 мг/кг сухой массы), в луковицах же при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения падало. В разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* также было более низкое содержание калия, но в отличие от шнитт-лука и сорта *A. schoenoprasum* Р.К. при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения в листьях оно возрастало, а в луковицах незначительно падало. Накопление калия в листьях характерно для всех растений, так как он способствует оттоку образующихся в них углеводов (Полевой, 1989). При сравнении с хорошо известными лекарственными растениями – продуцентами СГ, такими как диоскорея дельтовидная, якорцы стелющиеся (*Tribulus terrestris* L.) и юкка славная (*Yucca gloriosa* L.), можно отметить, что по содержанию калия шнитт-лук уступает только якорцам (Избирательное..., 1997). Для шнитт-лука характерно гораздо более высокое содержание калия и натрия по сравнению с луком репчатым, что, возможно, связано со своеобразием обмена веществ у этих видов (Шифрина, 1961). В растениях, содержащих стероидные сапонины, калий и натрий при определенном соотношении обеспечивают высокий плазмолитический эффект, что было показано на примере листьев разных видов лука (Корневищные..., 1992).

В отличие от калия, который в основном накапливается в листьях, концентратором натрия в большинстве исследованных образцов являлись луковицы (табл. 8,  $p < 0.05$ ), и в данном случае наблюдали внутривидовую изменчивость в содержании натрия (табл. 8, обр. 21-32). Для сорта *A. schoenoprasum* Р.К. и особенно для разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* характерно более высокое содержание натрия по сравнению с исходным видом. При этом, если в листьях и луковицах вида содержание натрия при переходе от фазы отрастания и бутонизации к фазе цветения падало, а затем слегка возрастало к фазе плодоношения, то в листьях и луковицах сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. максимальное содержание натрия обнаружено в фазе цветения, в фазе плодоношения оно незначительно падало. Для разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* максимум содержания натрия приходился на фазу бутонизации, при переходе к фазе цветения и плодоношения происходило уменьшение его содержания.

Характерный специфический запах луковым растениям придают летучие соединения серы. В шнитт-луке, интродуцированном

Таблица 8

## Содержание макроэлементов в почве, листьях и луковичах шнитт-лука (мг/кг сухого вещества)

Номер образца	Анализируемый объект	K	Na	Ca	Mg	S	P
1	Лист	—	—	—	—	17400 ± 900	—
	Луковича	—	—	—	—	14400 ± 700	—
2	Лист	26800 ± 8000	110 ± 30	6200 ± 1900	1700 ± 500	4600 ± 500	—
	Луковича	30300 ± 9100	190 ± 60	5100 ± 1500	1400 ± 400	2100 ± 200	—
3	Лист	15900 ± 4800	700 ± 200	6700 ± 2000	1200 ± 400	—	—
	Луковича	11000 ± 3300	110 ± 30	10700 ± 3200	800 ± 240	—	—
5	Лист	30100 ± 9000	220 ± 70	6600 ± 2000	1400 ± 400	13600 ± 700	—
	Луковича	24800 ± 7400	250 ± 80	6000 ± 1800	1300 ± 400	9100 ± 900	—
6	Лист	19000 ± 5700	150 ± 50	5500 ± 1700	1600 ± 500	4100 ± 400	—
	Луковича	11400 ± 3400	160 ± 50	7700 ± 2300	800 ± 240	2000 ± 200	—
7	Лист	19400 ± 5800	900 ± 300	7400 ± 2200	700 ± 200	14400 ± 700	—
	Луковича	12700 ± 3800	170 ± 50	4900 ± 1500	500 ± 200	14000 ± 700	—
8	Лист	24200 ± 7300	150 ± 50	4700 ± 1400	700 ± 200	5600 ± 600	—
	Луковича	18200 ± 5500	180 ± 50	5200 ± 1600	600 ± 200	9000 ± 900	—
10	Лист	10600 ± 3200	160 ± 50	5800 ± 1700	1300 ± 400	5000 ± 500	—
	Луковича	6700 ± 2000	580 ± 180	6400 ± 1900	600 ± 200	2600 ± 300	—
11	Лист	19600 ± 5900	80 ± 20	5700 ± 1700	1200 ± 400	4700 ± 500	—
	Луковича	19600 ± 5900	130 ± 40	9800 ± 2900	980 ± 290	2500 ± 300	—
12	Лист	28300 ± 8500	95,9 ± 28,8	6600 ± 2000	1900 ± 600	6200 ± 1900	—
	Луковича	27300 ± 8200	156 ± 47	13600 ± 4100	1300 ± 400	4100 ± 1200	—
	Почва	1100 ± 330	52,4 ± 15,7	3100 ± 900	2300 ± 700	—	—
13	Лист	27500 ± 8300	132 ± 40	9700 ± 2900	1900 ± 600	4200 ± 1300	—
	Луковича	22500 ± 6800	212 ± 64	12200 ± 3700	1500 ± 400	3700 ± 1100	—
	Почва	1920 ± 600	64,9 ± 19,8	5500 ± 1700	3600 ± 1100	—	—
14	Лист	14000 ± 4200	83 ± 25	9200 ± 2800	1500 ± 400	2900 ± 900	—
	Луковича	11300 ± 3400	259 ± 78	12700 ± 3800	1100 ± 300	2700 ± 800	—
	Почва	1020 ± 300	70,5 ± 21,2	3600 ± 1100	2800 ± 800	—	—
15	Лист	9600 ± 2900	78 ± 23	14900 ± 4500	1600 ± 500	1400 ± 400	—
	Луковича	8100 ± 2400	227 ± 68	9800 ± 2900	830 ± 250	2100 ± 600	—
	Почва	1020 ± 300	70,5 ± 21,2	3600 ± 1100	2800 ± 800	—	—

Продолжение таблицы 8

Номер образца	Анализируемый объект	K	Na	Ca	Mg	S	P
16	Лист	14000 ± 4200	113 ± 34	8000 ± 2400	1600 ± 500	2800 ± 800	-
	Луковица	6400 ± 1900	131 ± 39	10700 ± 3200	705 ± 210	1500 ± 500	-
	Почва	600 ± 200	44.5 ± 13.4	3400 ± 1000	1500 ± 400	-	-
17	Лист	14600 ± 4400	118 ± 35	12100 ± 3600	1700 ± 500	2600 ± 800	-
	Луковица	7500 ± 2300	105 ± 32	10400 ± 3100	770 ± 230	1200 ± 400	-
	Почва	600 ± 200	44.5 ± 13.4	3400 ± 1000	1500 ± 400	-	-
19	Лист	14800 ± 4400	136 ± 41	8400 ± 2500	1100 ± 300	2500 ± 800	-
	Луковица	9400 ± 2800	181 ± 54	10700 ± 3200	750 ± 230	2000 ± 600	-
	Почва	530 ± 160	44.6 ± 13.4	1500 ± 500	1400 ± 400	-	-
20	Лист	9300 ± 2800	84 ± 25	19800 ± 5900	980 ± 290	4400 ± 1300	-
	Луковица	5600 ± 1700	223 ± 13	19700 ± 5900	660 ± 200	2300 ± 700	-
	Почва	312 ± 94	43.3 ± 18.0	2100 ± 600	1400 ± 400	-	-
21	Лист	40000 ± 16000	100 ± 40	5200 ± 1600	1800 ± 500	9800 ± 2900	6700 ± 2000
	Луковица	44000 ± 18000	130 ± 50	5000 ± 1500	1600 ± 500	9000 ± 2700	9100 ± 2700
	Почва	2000 ± 800	34 ± 13	3700 ± 1100	2900 ± 900	800 ± 240	370 ± 110
22	Лист	24000 ± 10000	100 ± 40	6200 ± 1900	1600 ± 500	3400 ± 1000	3300 ± 1000
	Луковица	11000 ± 4000	80 ± 30	5300 ± 1600	800 ± 240	1800 ± 500	2300 ± 700
	Почва	1900 ± 800	61 ± 24	3800 ± 1100	2900 ± 900	760 ± 230	360 ± 110
23	Лист	20000 ± 8000	64 ± 26	8300 ± 2500	1600 ± 500	3100 ± 900	2800 ± 900
	Луковица	10000 ± 4000	65 ± 26	4500 ± 1400	650 ± 190	2100 ± 600	2000 ± 600
	Почва	2000 ± 800	42 ± 17	4000 ± 1200	3400 ± 1000	770 ± 230	380 ± 110
24	Лист	18000 ± 7000	80 ± 30	10000 ± 3000	1800 ± 500	2400 ± 700	2900 ± 900
	Луковица	10000 ± 4000	140 ± 60	4000 ± 1200	780 ± 230	2400 ± 700	2600 ± 800
	Почва	18000 ± 7000	120 ± 50	5600 ± 1700	1300 ± 400	3400 ± 1000	2600 ± 800
25	Лист	12000 ± 5000	160 ± 60	5100 ± 1500	770 ± 230	2000 ± 600	2500 ± 800
	Луковица	1200 ± 500	49 ± 20	3400 ± 1000	2800 ± 800	390 ± 120	320 ± 100
	Почва	18000 ± 7000	140 ± 60	4300 ± 1300	1300 ± 400	3200 ± 1000	2100 ± 600
26	Лист	10000 ± 4000	350 ± 140	3700 ± 1100	710 ± 210	1500 ± 400	1800 ± 500
	Луковица	850 ± 300	120 ± 50	4700 ± 1400	1900 ± 400	760 ± 230	460 ± 140
	Почва	18000 ± 7000	190 ± 80	5600 ± 1700	2000 ± 600	2700 ± 800	2200 ± 700
27	Луковица	9000 ± 4000	420 ± 170	5000 ± 1500	1000 ± 300	1500 ± 400	1800 ± 500
	Почва	820 ± 300	130 ± 50	4900 ± 1500	1400 ± 400	910 ± 270	530 ± 160

Окончание таблицы 8

Номер образца	Анализируемый объект	K	Na	Ca	Mg	S	P
28	Лист	18000 ± 7000	170 ± 70	9000 ± 2700	2500 ± 700	1800 ± 500	2200 ± 700
	луковица	9000 ± 4000	360 ± 140	13000 ± 4000	1200 ± 400	1100 ± 300	1600 ± 500
	Почва	590 ± 240	75 ± 30	4000 ± 1200	1100 ± 300	660 ± 200	410 ± 120
29	Лист	14000 ± 6000	120 ± 50	4900 ± 1500	1400 ± 400	3600 ± 1100	3500 ± 1000
	Луковица	12000 ± 5000	350 ± 140	4100 ± 1200	1100 ± 300	2900 ± 900	3300 ± 1000
	Почва	1500 ± 600	190 ± 80	7800 ± 2300	2500 ± 700	1200 ± 400	890 ± 270
30	Лист	14000 ± 6000	210 ± 80	4800 ± 1400	1700 ± 500	2900 ± 900	2400 ± 700
	Луковица	9000 ± 3000	660 ± 260	3300 ± 1000	780 ± 240	1700 ± 500	1900 ± 600
	Почва	900 ± 400	90 ± 40	4200 ± 1300	1400 ± 400	690 ± 210	490 ± 150
31	Лист	16000 ± 6000	200 ± 80	7000 ± 2100	3000 ± 900	2100 ± 600	2700 ± 800
	Луковица	10000 ± 4000	500 ± 200	4000 ± 1600	930 ± 280	1200 ± 400	2100 ± 600
	Почва	1000 ± 400	120 ± 50	5600 ± 1700	1900 ± 600	750 ± 230	660 ± 200
32	Лист	18000 ± 7000	150 ± 60	11000 ± 4000	3800 ± 1100	1800 ± 500	2500 ± 700
	Луковица	10000 ± 4000	350 ± 140	4000 ± 1600	870 ± 260	1400 ± 400	2800 ± 800
	Почва	1000 ± 400	150 ± 60	3500 ± 1000	1700 ± 500	1100 ± 300	540 ± 160
34	Лист	17000 ± 7000	80 ± 30	6300 ± 1900	1900 ± 600	4500 ± 1400	2300 ± 700
	Луковица	12000 ± 5000	220 ± 90	6800 ± 2100	1200 ± 400	1800 ± 500	1700 ± 500
	Почва	500 ± 200	28 ± 11	680 ± 200	2100 ± 600	220 ± 70	100 ± 30
35	Лист	16000 ± 6000	130 ± 50	7900 ± 2400	1900 ± 600	2500 ± 800	1900 ± 600
	Луковица	9800 ± 3900	520 ± 210	9700 ± 2900	1100 ± 300	1200 ± 400	1800 ± 500
	Почва	200 ± 80	17 ± 7	560 ± 170	1000 ± 300	170 ± 50	19 ± 6
39	Лист	6600 ± 2600	49 ± 19	7400 ± 2200	480 ± 140	1500 ± 400	370 ± 110
	Луковица	12000 ± 5000	54 ± 21	11000 ± 3000	620 ± 190	4000 ± 1200	2500 ± 700
	Почва	1400 ± 600	110 ± 40	8100 ± 2400	8200 ± 2400	830 ± 250	660 ± 200
40	Лист	21000 ± 8000	120 ± 50	19000 ± 6000	540 ± 160	5300 ± 1600	2100 ± 600
	Луковица	10000 ± 4000	150 ± 60	21000 ± 6000	450 ± 140	1800 ± 500	1500 ± 450
	Почва	2700 ± 1100	550 ± 220	76000 ± 23000	4500 ± 1300	760 ± 230	870 ± 260
42	Лист	15000 ± 6000	31 ± 12	12000 ± 4000	2100 ± 600	4700 ± 1400	2800 ± 800
	Луковица	9300 ± 4000	110 ± 40	18000 ± 5000	1200 ± 400	2500 ± 800	2500 ± 700
	Почва	670 ± 270	80 ± 30	14000 ± 4000	12000 ± 4000	600 ± 180	130 ± 40

Примечание. Прочерк означает, что анализ не проводился; номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2.

в Новосибирске, содержится 10 900 мг/кг серы (Корневищные..., 1992). В исследованных нами образцах содержание серы как в листьях, так и в луковицах колеблется в очень широких пределах и зависит от многих факторов (табл. 8). Максимальное ее количество было обнаружено в листьях и луковицах лука-интродуцента из коллекции ботанического сада в фазе отрастания (17 400 и 14 400 мг/кг соответственно, обр. 1), а также в листьях его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* (13 600 мг/кг, обр. 5). Содержание серы в листьях и луковицах двух образцов лука с Приполярного Урала значительно различается – 14 400 и 14 000 (обр. 7) и 5600 и 9000 мг/кг (обр. 8), что может быть связано не только с различиями в условиях произрастания, но и с разными фазами развития. Для этих образцов нами были обнаружены также существенные различия в содержании общего азота и протеиногенных аминокислот. В содержании серы, как и других макроэлементов, наблюдается большая вариабельность. Концентратором серы в большинстве исследованных растений являются листья. Максимальное содержание серы как в листьях, так и в луковицах во всех случаях приходится на фазу отрастания. При переходе к фазе плодоношения в листьях вида происходило падение содержания серы, особенно значительное при переходе из фазы отрастания в фазу бутонизации (табл. 8, обр. 21-24). Для разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. наблюдали уменьшение содержания серы при переходе в фазу плодоношения как в листьях, так и в луковицах (обр. 25-32).

Магний является для растений важным макроэлементом, который концентрируется в листьях (табл. 8,  $p < 0.001$ ). Он входит в состав молекулы хлорофилла и принимает непосредственное участие в фотосинтезе, поэтому логично, что его содержание в листьях выше, чем в луковицах. Как в случае большинства макроэлементов, содержание магния варьирует в очень широких пределах: от 480 до 2100 в листьях и от 450 до 1660 мг/кг сухого вещества в луковицах. В большинстве образцов из региональной флоры оно значительно ниже, чем в луке, интродуцированном в Новосибирске (Корневищные..., 1992). Минимальные количества элемента были обнаружены в листьях и луковицах дикорастущих растений из Вуктыльского района, собранных на скальных выходах (сообщество скалы и бечевники), – 480 и 820 мг/кг сухой массы соответственно (обр. 39), в окрестностях г. Воркуты – 540/450 (обр. 40), а также с Приполярного Урала – 700/500 (обр. 7) и 700/600 мг/кг сухой массы (обр. 8). При этом в почвах, взятых из отдаленной ризосферной зоны этих образцов, обнаружено самое высокое содержание магния – 8200 и 4500 мг/кг (обр. 39 и 40). Особенно высоким содержанием как в растении, так и в почве отличается обр. 42, собранный на скальных выходах в окрестностях Воркуты – 2100 (лист), 1200 (луковица), 12 000 (почва) мг/кг. Высокое содержание магния в почве, по-видимому, ингибирует аккумуляцию элемента растением. Так, для листьев большей части растений значения КБН лежат в пределах 0.5-0.8, для луковиц – 0.2-

0.6. КБН листьев и луковиц растений с самым высоким содержанием магния в почве значительно снижаются – 0.06 и 0.1 (обр. 39), 0.12 и 0.1 (обр. 40, табл. 9). В листьях шнитт-лука при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения концентрация магния остается практически на одном уровне (табл. 8, обр. 21-24). В луковицах его содержание максимально в фазе отрастания. В фазе цветения оно резко снижалось и затем незначительно повышалось в фазе плодоношения. У сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. в течение вегетационного периода наблюдали повышение содержания магния как в листьях, так и в луковицах (обр. 25-28). В листьях разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения уровень накопления макроэлемента также повышался, а в луковицах снижался, причем минимальное значение было зафиксировано в фазе бутонизации (обр. 29-32).

По содержанию кальция и фосфора корневищные луки находятся на одном уровне с такими ценными пищевыми растениями, как петрушка, салат, шпинат и щавель. Наибольшее количество фосфора было обнаружено в листьях и луковицах лука-интродукта из коллекции БС в фазе отрастания – 6700 и 9100 мг/кг соответственно (табл. 8, обр. 21). По содержанию фосфора (в среднем около 2000 мг/кг сухой массы) наши региональные образцы значительно уступают луку, интродуцированному в Новосибирске, для которого его содержание составляет 5500 мг/кг (Корневищные..., 1992). Исследуемые луки хорошо аккумулируют фосфор, их КБН значительно выше единицы и лежит в широком диапазоне от 3.2 до 10.6 для листьев и от 1.8 до 6.3 для луковиц. В наиболее богатом фосфором шнитт-луке из коллекции БС (обр. 21) КБН достигал 26.5 (лист) и 24.3 (луковица).

Содержание фосфора у шнитт-лука при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения снижалось как в листьях, так и в луковицах, причем наиболее резкое снижение происходило при переходе от фазы отрастания к фазе бутонизации. В листьях разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. при переходе от фазы отрастания к фазе бутонизации содержание фосфора незначительно понижалось и далее – к фазе плодоношения, оставалось на одном уровне. В луковицах в течение вегетационного периода концентрация фосфора почти не изменялась.

Значительный разброс наблюдали в содержании кальция – от 4300 до 19 800 мг/кг в листьях и от 3300 до 21 000 мг/кг в луковицах (табл. 8). Максимальная концентрация элемента обнаружена в листьях и луковицах дикорастущих растений, собранных в Печоро-Ильчском заповеднике в фазе цветения (19 800 и 19 700 мг/кг) и в бассейне р. Воркута (19 000 и 21 000 мг/кг сухой массы).

Внутри вида отличия в содержании кальция наблюдались в луковицах (табл. 8, обр. 21-32). Если в листьях культивируемых растений в течение вегетационного периода уровень накопления

кальция повышался, то в луковицах вида при переходе от фазы отрастания к фазе плодоношения он незначительно понижался, в разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* он оставался практически одинаковым, а в луковицах сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. при переходе от фазы отрастания к фазе бутонизации он незначительно снижался, в фазе цветения возвращался к начальному уровню и резко возрастал в фазе плодоношения.

В литературе отмечено, что в листьях и стеблях, как правило, кальция значительно больше, чем магния (Агрохимия, 1989), что подтверждает наши результаты.

Свойства лука аккумулировать макро- и микроэлементы характеризуются КБН. Шнитт-лук является аккумулятором всех макроэлементов, кроме магния (табл. 9). Значение КБН магния выше единицы для разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* и сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. Наибольшую аккумулирующую способность шнитт-лук проявлял по отношению к калию.

КБН зависит не только от аккумулирующих свойств растения, но и от содержания элемента в почве. Повышенное содер-

Таблица 9

**Коэффициенты биологического накопления макроэлементов  
листьями (числитель) и луковицами (знаменатель) шнитт-лука**

Номер образца	K	Na	Ca	Mg	S	P
1	25.7/24.8	1.8/3.0	2.1/4.4	0.8/0.6	–	–
2	14.3/11.7	2.0/3.3	1.8/2.2	0.5/0.4	–	–
3	13.7/11.1	1.2/3.7	2.6/3.5	0.5/0.4	–	–
4	9.4/7.9	1.1/3.2	4.1/2.7	0.6/0.3	–	–
5	23.3/10.7	2.5/2.9	2.4/3.2	1.1/0.5	–	–
6	24.3/12.5	2.7/2.4	3.6/3.1	1.1/0.5	–	–
7	–/6.1	–/1.4	–/1.33	–/0.1	–	–
8	27.9/17.7	3.1/4.1	5.6/7.1	0.8/0.5	–	–
9	29.8/18.0	2/5.2	9.4/9.4	0.7/0.5	–	–
21	20.0/22.0	2.9/3.8	1.4/1.4	0.6/0.6	8.4/11.4	26.5/24.3
22	12.6/5.8	1.6/1.3	1.6/1.4	0.6/0.3	4.3/3	9.4/5.0
23	10.0/5.0	1.5/1.6	2.1/1.1	0.5/0.2	3.6/2.6	8.2/5.5
25	15.0/10.0	2.5/3.3	1.7/1.5	0.5/0.3	6.7/6.4	10.6/6.3
26	21.2/11.8	1.2/2.9	0.9/0.8	0.7/0.4	2.8/2.4	7.0/3.3
27	22.0/11.0	1.5/3.2	1.1/1.0	1.4/0.7	2.4/2.0	5.1/2.8
28	30.5/15.3	2.3/4.8	2.3/3.3	2.3/1.1	3.3/2.4	4.4/2.7
29	9.3/8.0	0.6/1.8	0.6/0.5	0.6/0.4	2.9/2.8	4.0/3.3
30	15.6/10.0	2.3/7.3	1.1/0.8	1.2/0.6	3.5/2.8	5.9/3.5
31	16.0/10.0	1.7/4.2	1.3/0.7	1.6/0.5	3.6/2.8	3.2/1.8
32	18.0/10.0	1.0/2.3	3.1/1.1	2.2/0.5	2.3/2.6	3.3/2.6
34	34.0/24.0	2.9/7.9	9.3/10.0	0.9/0.6	20.5/8.9	23.0/17
35	80.0/49.0	7.7/30.6	14.1/17.3	1.9/1.1	131.6/63.2	11.2/10.6
39	4.7/8.6	0.4/0.5	0.9/1.4	0.1/0.1	2.3/6.1	0.5/3.0
40	7.8/3.7	0.2/0.3	0.3/0.3	0.1/0.1	6.1/2.1	2.8/2.0
42	22.4/13.9	0.4/1.4	0.9/1.3	0.2/0.1	36.2/19.2	4.7/4.2

*Примечание.* Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2; прочерк – анализ не проводился.

жание ингибирует процесс аккумуляции, что приводит к снижению значений КБН и его возрастанию при низкой концентрации. Причину этого явления связывают с буферными свойствами почвы и защитными механизмами растения (Ильин, 1995; Ильин, Сысо, 2001; Битюцкий, 2011). Например, обр. 35 (табл. 8), собранный в Верхнецилемском заказнике, произрастал на песчаной почве с сильным проточным увлажнением. Содержание всех макроэлементов в образце почвы из этого местообитания самое низкое, по всей вероятности, вследствие сильного их вымывания, а их содержание в растении практически такое же, как и в других образцах. Вследствие этого значения КБН для всех макроэлементов в этом растении очень высокие (табл. 9). В луке, собранном в окрестностях пос. Цементнозаводской на правом берегу р. Воркута (обр. 40), обнаружено гораздо более высокое содержание макроэлементов по сравнению с другими изученными образцами. Почвы в этом районе также отличаются высокими концентрациями макроэлементов, особенно кальция, содержание которого многократно выше, чем в других местах сбора, и достигает 76 000 мг/кг. Соответственно значения КБН для этого образца очень низкие (0.3 для Ca, 0.2 для Na, 0.1 для Mg). **Широкая вариабельность в накоплении макроэлементов всеми частями растения объясняется комплексным влиянием различных факторов.**

Значительные внутривидовые различия были обнаружены нами в аккумуляции микроэлементов шнитт-луком (табл. 10). Во многих видах корневищных луков железо является одним из основных микроэлементов, по содержанию которого луки уступают только шпинату – наиболее богатому этим микроэлементом зеленому растению (300 мг/кг). Из представителей рода *Allium* самое высокое содержание железа обнаружено в луке угловатом (275 мг/кг, Корневищные..., 1992) и л. желтеющем (210 мг/кг, Голубев и др., 2003). В исследованных нами растениях диапазон содержания этого микроэлемента довольно широкий – от 15 до 360 в листьях и от 29 до 540 мг/кг сухой массы в луковицах. Такой широкий разброс в содержании железа можно объяснить только комплексным влиянием разных факторов, в том числе составом почв. Самое высокое содержание железа было обнаружено в луковицах разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* (540 мг/кг) и листьях сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. из коллекции БС (420 мг/кг) и лаборатории биохимии и биотехнологии (410 мг/кг), самое низкое – в листьях и луковицах природных растений из окрестностей с. Гам (обр. 10, 19).

Изменение содержания железа в процессе вегетации иллюстрирует внутривидовые различия (табл. 10, обр. 21-32): в листьях шнитт-лука, культивируемого в БС, его максимальное содержание найдено в фазе плодоношения, в луковицах – в фазе бутонизации. В листьях сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. максимальное содержание железа обнаружено в фазе отрастания. В процессе вегетации оно снижалось и достигало минимума в фазе плодоношения. В луковицах максимум содержания микроэлементов

Таблица 10

Содержание некоторых микроэлементов в почве, листьях и луковичах шнитт-лука, мг/кг сухой массы

Номер образца	Анализируемый объект	Fe	Al	Zn	Cu	Mn	Cr	Ni	Cd	Ba	Sr
2	Лист	70±20	36±9	38±8	6.4±1.3	26±8	–	2.3±0.8	0.028±0.014	12.1	1.7±0.3
	Луковица	62±17	35±9	32±6	5.0±1.0	8.6±2.6	–	1.5±0.5	0.07±0.04	16.8	<0.50
3	Лист	81±23	64±17	12.5±2.5	1.9±0.4	5.6±1.7	–	2.0±0.7	<0.02	19.1	0.90±0.20
	Луковица	170±50	325±84	23±5	2.3±0.5	7.5±2.2	–	3.8±1.3	<0.02	24.4	1.9±0.4
5	Лист	98±27	69±18	33±7	6.0±1.2	15±4	–	1.4±0.5	<0.02	9.4	1.23±0.25
	Луковица	540±150	530±140	27±5	4.3±0.8	29±9	–	6.1±1.1	0.039±0.02	15.8	10.9±2.7
6	Лист	120±13	108±28	13.9±2.8	2.6±0.5	16±5	–	1.3±0.5	<0.02	10.3	1.5±0.3
	Луковица	420±120	410±100	15±3	1.6±0.3	26±8	–	2.8±1.0	0.039±0.02	15.8	5.1±1.3
7	Лист	56±16	22±6	15±3	3.0±0.6	14±4	–	1.7±0.6	0.035±0.018	13.1	0.50±0.12
	Луковица	33±9	12±3	27±5	3.6±0.7	7.8±2.3	–	4.2±1.5	0.053±0.026	12.3	<0.50
8	Лист	160±40	140±40	17±3	4.4±0.9	18±5	–	4.4±1.5	0.031±0.016	9.0	0.93±0.23
	Луковица	74±21	55±14	38±8	5.6±1.1	17±5	–	10.0±4	0.030±0.015	13.1	0.53±0.13
10	Лист	73±20	50±13	13.6±2.7	2.3±0.5	220±70	–	7.7±2.7	0.07±0.04	44.0	<0.50
	Луковица	43±12	40±10	10.7±2.1	1.7±0.3	220±70	–	11.0±4	0.06±0.03	38.0	1.50±0.3
11	Лист	120±30	82±21	24±5	3.4±0.7	43±9	–	18±06	0.05±0.03	14±42	17.7
	Луковица	73±20	62±16	43±9	2.8±0.6	43±9	–	18±06	0.07±0.04	25±75	45.6
12	Лист	н/о	42±11	34±7	7.0±1.4	25±7	3.0±0.6	1.7±0.6	0.08	15.2	21.9
	Луковица	4.9	48±12	43±9	7.1±1.4	13±4	7.0±1.4	3.5±1.2	0.15±0.1	49.7	86.2
13	Почва	10000±2800	7400±1900	33±7	6.9±1.4	340±100	11.7±2.3	14±5	0.16±0.08	52.6	19.4
	Лист	н/о	44±11	27±5	4.1±0.8	21±6	1.6±0.3	0.70±0.2	0.16±0.1	19.0	34.9
14	Луковица	60±17	140±40	33±7	5.0±1.0	15±4	2.3±0.5	1.3±0.4	0.24±0.1	29.6	65.0
	Почва	13000±4000	11000±3000	50±10	10.7±2.1	2000±600	18±4	19±7	0.24±0.12	82.9	32.8
15	Лист	н/о	38±10	15±3	4.0±0.8	23±7	2.8±0.6	2.1±0.7	н/о	21.0	35.9
	Луковица	н/о	46±12	20±4	4.4±0.9	11±3	5.9±1.2	4.5±1.6	0.08	24.7	72.6
15	Почва	13000±4000	12000±3000	29±6	7.4±1.5	500±150	18±4	15±5	0.14±0.07	65.8	24.4
	Лист	н/о	85±22	12.7±2.5	2.5±0.5	29±9	1.5±0.3	0.30	0.15±0.1	37.6	72.3
15	Луковица	47±13	130±30	19±4	4.2±0.8	14±4	4.0±0.8	3.0±1.0	0.12±0.1	17.2	48.9
	Почва	13000±4000	12000±3000	29±6	7.4±1.5	500±150	18±4	15±5	0.14±0.07	65.8	24.4

Продолжение таблицы 10

Номер образца	Анализируемый объект	Fe	Al	Zn	Cu	Mn	Cr	Ni	Cd	Ba	Sr
16	Лист	90±25	130±30	18±4	3.2±0.6	30±9	2.7±0.5	1.8±0.6	0.10±0.1	16.1	34.7
	Луковица	н/о	52±14	16±3	2.4±0.5	11±3	3.1±0.6	3.4±1.2	0.16±0.1	18.9	58.4
	Почва	6500±1800	6300±1600	15±3	4.1±0.8	230±70	9.0±1.8	7.9±2.8	0.07±0.04	32.7	14.4
17	Лист	71±20	150±40	15±3	4.6±0.9	37±11	10.0±2.0	4.5±1.6	0.08	30.6	58
	Луковица	71±20	180±50	14.2±2.8	2.3±0.4	20±6	1.9±0.4	2.5±0.9	0.08	22.0	52.4
	Почва	6500±1800	6300±1600	15±3	4.1±0.8	230±70	9.0±1.8	7.9±2.8	0.07±0.04	32.7	14.4
18	Луковица	н/о	50±13	26±5	5.2±1.0	15±4	2.0±0.4	3.9±1.4	0.12±0.1	20.2	64.5
	Почва	30000±8000	22000±6000	91±18	22±4	1100±300	38±8	42±15	0.48±0.24	135.1	49.2
	Лист	15±4	48±12	9.4±1.9	3.6±0.7	28±8	4.8±1.0	2.2±0.8	0.09	20.1	34.8
19	Луковица	29±8	56±14	17±3	2.9±0.6	22±7	3.3±0.7	3.2±1.1	0.049	24.7	46.8
	Почва	9700±2700	4600±1200	18±4	4.4±0.9	420±130	8.2±1.6	9±3	0.21±0.10	51.3	10.5
	Лист	29±8	50±13	16±3	3.0±0.6	19±4	3.9±0.8	2.8±1.0	0.09	22.3	32.6
20	Луковица	66±18	79±20	19±4	2.6±0.5	19±4	2.5±0.5	6.5±2.3	0.12±0.1	20.5	42.4
	Почва	6900±1900	4000±1000	26±5	2.3±0.5	130±40	7.4±1.5	6.6±2.3	0.07±0.04	17.0	12.8
	Лист	120±30	80±21	39±8	4.9±1.0	19±6	3.1±0.6	1.4±0.5	0.14±0.07	8.5±2.5	20±6
21	Луковица	120±30	85±22	50±10	5.8±1.1	16±5	3.6±0.7	2.4±0.8	0.2±0.10	12±4	35±11
	Почва	10000±2800	9500±2500	47±9	10.0±2.0	380±110	17±3	18±6	0.10±0.05	71±21	22±7
	Лист	89±25	68±18	16±3	3.2±0.6	14±4	2.0±0.4	1.1±0.4	0.054	11±3	24±7
22	Луковица	190±50	170±40	21±4	2.9±0.6	10±3	12.8±2.6	6.6±2.3	0.025	9.5±2.8	27±8
	Почва	11000±3000	9600±2500	47±9	10.0±2.0	440±130	17±3	18±6	0.12±0.06	75±23	23±7
	Лист	89±25	72±19	17±4	2.0±0.4	18±5	2.9±0.6	1.1±0.4	0.08	12±4	31±9
23	Луковица	71±20	63±16	26±5	1.9±0.4	8.3±2.5	1.7±0.3	1.1±0.4	0.092	6.1±1.8	21±6
	Почва	12000±3000	11000±2600	49±10	11.4±2.3	450±140	20±4	21±7	0.11±0.05	77±23	24±7
	Лист	150±40	150±40	17±4	2.5±0.5	20±6	3.2±0.6	1.2±0.4	0.12±0.06	18±5	40±12
24	Луковица	110±30	108±28	39±8	2.7±0.5	12±4	2.5±0.5	1.7±0.6	0.08	6.8±2.0	18±5
	Лист	410±120	490±130	12.8±2.6	3.2±0.6	30±9	8.0±1.6	5.1±1.8	0.067	12±4	25±8
	Луковица	120±30	98±25	35±7	2.7±0.5	13±4	13.9±2.8	11±4	0.08	11±3	32±10
25	Почва	11000±3000	11000±2600	27±5	8.4±1.7	390±120	18±4	16±6	0.07	57±17	22±7

Продолжение таблицы 10

Номер образца	Анализируемый объект	Fe	Al	Zn	Cu	Mn	Cr	Ni	Cd	Ba	Sr
26	Лист	360±100	440±110	11.3±2.3	2.6±0.5	25±8	7.2±1.4	4.8±1.7	0.046	8.7±2.6	19±6
	Луковица	130±40	130±30	12.4±2.5	1.5±0.3	10±3	8.8±1.8	4.1±1.4	0.060	7.5±2.2	20±6
	Почва	6200±1700	3900±1000	24±4	5.6±1.1	210±60	7.1±1.4	8.2±2.9	0.08	37±11	23±7
27	Лист	230±70	250±70	12.3±2.5	2.2±0.4	25±7	3.8±0.8	2.1±0.7	0.08	9.0±2.7	25±8
	Луковица	110±30	104±27	13.9±2.8		11±3	5.0±1.0	3.8±1.3	0.073	8.0±2.4	25±8
	Почва	5800±1600	3100±800	23±5	5.8±1.2	190±60	6.2±1.2	7.5±2.6	0.08	36±11	25±8
28	Лист	75±21	49±13	11.3±2.3	2.4±0.5	30±9	1.8±0.4	1.3±0.5	0.052	16±5	40±12
	Луковица	57±16	43±11	22±4	2.1±0.4	13±4	1.7±0.3	2.8±1.0	0.070	20±6	62±19
	Почва	5300±1500	2900±800	20±4	4.8±1.0	180±50	5.8±1.2	6.8±2.4	0.07	31±9	20±6
29	Лист	120±30	120±30	21±4	4.4±0.9	20±6	3.4±0.7	3.7±1.3	0.036	6.8±2	20±6
	Луковица	59±16	66±17	20±4	4.1±0.8	9.3±2.8	1.7±0.3	3.3±1.1	0.064	8.1±2.4	28±8
	Почва	9600±2700	6800±1800	40±8	11.3±2.3	350±100	12.0±2.4	14±5	0.14±0.07	61±18	39±12
30	Лист	110±30	103±27	14.5±2.9	3.0±0.6	16±5	4.5±0.9	3.1±1.1	0.041	7.2±2.2	20±6
	Луковица	110±30	89±23	10.9±2.2	2.2±0.4	7.8±2.3	1.6±0.3	1.9±0.7	0.035	6.0±1.8	19±6
	Почва	6600±1800	4000±1000	23±5	5.6±1.1	230±70	7.4±1.5	8.4±2.9	0.09	39±12	23±7
31	Лист	84±23	63±16	13.0±2.6	2.5±0.5	31±9	2.8±0.6	1.6±0.6	0.055	9.6±2.9	29±9
	Луковица	72±20	76±20	14.2±2.8		10±3	1.42±0.28	1.5±0.5	0.054	7.5±2.2	20±6
	Почва	8400±2400	6000±1600	27±5	8.5±1.7	110±90	10.6±2.1	15±4	0.11±0.05	51±15	30±9
32	Лист	104±29	88±23	19±4	3.2±0.6	50±15	3.1±0.6	2.0±0.7	0.09	17±5	48±14
	Луковица	67±19	39±10	17±4	2.0±0.4	10±3	6.3±1.3	4.0±1.4	0.054	9.5±2.9	20±6
	Почва	6000±1700	3700±1000	27±5	5.9±1.2	220±70	7.1±1.4	7.6±2.7	0.08	35±11	20±6
33	Лист	220±60	210±60	13±3	2.8±0.6	34±10	3.1±0.6	1.2±0.4	0.12±0.06	14±4	14±4
	Луковица	130±40	78±20	19±4	2.4±0.5	110±90	2.3±0.5	5.6±2.0	0.08±0.04	24±0.5	92±28
	Почва	280±80	140±40	29±6	2.9±0.6	180±50	3.6±0.7	15±5	0.13±0.07	29±0.6	140±40
34	Лист	77±21	45±12	15±3	1.8±0.4	47±14	1.09±0.22	0.51±0.18	0.05	140±40	61±18
	Луковица	110±30	65±17	20±4	2.0±0.4	29±9	1.09±0.22	2.7±1.0	0.05	140±40	75±23
	Почва	8100±2300	3300±900	17±3	7.9±1.6	250±70	6.1±1.2	6.5±2.3	0.03	25±7	4.4±1.3
39	Лист	66±18	59±15	8.7±1.7	1.3±0.3	22±7	0.48	0.71±0.25	н/о	6.3±1.9	11±3
	Луковица	67±19	41±11	29±6	3.4±0.7	18±5	1.24±0.25	0.8±0.3	0.06	7.3±2.2	19±6
	Почва	27000±8000	17000±4000	76±15	37±7	1200±400	36±7	59±21	0.8±0.4	86±26	21±6

Окончание таблицы 10

Номер образца	Анализируемый объект	Fe	Al	Zn	Cu	Mn	Cr	Ni	Cd	Ba	Sr
40	Лист	130±40	130±30	17±3	2.9±0.6	16±5	1.24±0.25	0.55±0.19	0.20±0.10	17±5	16±5
	Луковица	150±40	150±40	31±6	2.5±0.5	16±5	1.3±0.3	0.9±0.3	0.30±0.15	14±4	27±8
	Почва	16000±4000	16000±4000	103±21	25±5	570±170	33±7	30±11	0.8±0.4	150±50	70±21
42	Лист	200±60	170±40	12.0±2.4	2.8±0.6	33±10	2.0±0.4	0.78±0.27	0.09	20±6	10±3
	Луковица	310±90	280±70	28±6	3.5±0.7	25±8	4.3±0.9	2.3±0.8	0.16±0.08	25±8	20±6
	Почва	14000±4000	14000±4000	59±12	8.8±1.8	270±80	23±5	22±8	0.21±0.1	61±18	13±4

Примечание. Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2; н/о – микронутриент не обнаружен; прочерк – исследование не проводилось.

та приходится на фазу бутонизации, минимум – на плодоношение. В листьях разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* максимальное накопление железа наблюдали в фазе отрастания, минимальное – в фазе цветения. К фазе плодоношения оно возростало, но не достигало значений для фазы отрастания и бутонизации. В большинстве образцов содержание железа в луковичках было значительно ниже, чем в листьях, его максимум приходился на фазу бутонизации, минимум – на фазу отрастания. Как видно, содержание этого микроэлемента внутри вида изменяется в очень широких пределах. Высокое содержание железа в почвах Республики Коми (табл. 10), неравномерное распределение его и большая изменчивость концентраций (Атлас..., 2010) влияют на КБН, который имеет очень низкие значения (от 0.0005 до 0.037). Шнитт-лук не является аккумулятором железа, несмотря на довольно высокое его содержание в растении. Особенно наглядно это проявляется на луке, собранном в БС в 2007 и 2008 гг. в фазе бутонизации, где при высоком содержании железа в почве в листьях и луковичках растений железо или не было обнаружено (обр. 12), или было обнаружено в очень небольших количествах (обр. 11, 13).

Сведения о содержании алюминия в шнитт-луке и его роли в растении в литературе очень незначительны. Вместе с тем количественное содержание этого микроэлемента коррелирует с содержанием железа. Диапазон концентраций алюминия в шнитт-луке также очень большой – от 12 до 530 мг/кг сухой массы (табл. 10). Самое высокое его содержание было обнаружено в луковичках разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* (530 мг/кг), а также в листьях сортового образца *A. schoenoprasum* Р.К. из коллекций БС и лаборатории биохимии и биотехнологии (410 и 490 мг/кг соответственно). Тем не ме-

нее, КБН этого микроэлемента так же, как для железа, очень низкий (для большинства образцов меньше 0.01). Алюминий относят к элементам, в которых нуждаются не все растения. Предполагают, что он имеет большое значение для обмена веществ у гидрофитов (Полевой, 1989), к которым относится исследуемый вид. Сезонная динамика изменения содержания алюминия и железа совпадают (табл. 10). Нами выявлена высокая корреляция между содержанием этих микроэлементов в шнитт-луке ( $r^2 = 0.82$ ,  $p < 0.01$ ). Можно предположить, что это следствие влияния на растение микроэлементного состава почвы, где также была выявлена сильная взаимосвязь между содержанием железа и алюминия ( $r^2 = 0.96$ ,  $p < 0.01$ ).

Цинк является одним из важнейших микроэлементов – компонентов антиоксидантной защиты. Хотя биологическая роль этого элемента установлена уже около 120 лет назад, однако и сегодня его биохимические свойства продолжают изучать, что приносит новые и неожиданные результаты. В большинстве исследованных нами образцов шнитт-лука цинк концентрируется в луковицах (табл. 10). Содержание его в листьях незначительно отличается от интродуцированных в Новосибирске (Корневищные..., 1992), значительно выше, чем у выращенного в Московской области (Голубкина и др., 2009), и в большинстве случаев ниже, чем у шнитт-лука из средней полосы России (Голубев и др., 2003). Дикорастущий шнитт-лук отличается от культивируемого более низким содержанием цинка.

Медь наряду с железом принимает активное участие в окислительно-восстановительных процессах. Культивируемый и дикорастущий шнитт-лук содержит меньшие количества меди (от 1.6 до 7.4 мг/кг сухой массы, табл. 10) по сравнению с новосибирским луком-интродуцентом (5.74-10.90 мг/кг сухой массы, Корневищные..., 1992). Между парой Cu/Zn существует прямая корреляционная связь средней силы ( $r^2 = 0.43$ ).

Важность марганца для фотосинтеза в зеленых растениях еще в 1937 г. впервые установил А. Пирсон на примере зеленых водорослей *Chlorella* (Pirson, 1937). Содержание марганца в шнитт-луке колеблется в довольно широком диапазоне – от 5.6 до 29.0 мг/кг сухой массы. Закономерностей в распределении по частям растения или зависимости от географического положения нами выявлено не было. Исключение составляет шнитт-лук, собранный на заливаемом лугу в окрестностях с. Гам (обр. 10, табл. 10), где содержание марганца на порядок выше, чем во всех остальных растениях (220 мг/кг сухой массы). Количество этого микроэлемента в почве варьирует в пределах от 180 до 2000 мг/кг. Причем такая большая разница в содержании марганца в почве почти не влияла на его количество в растении: в листьях и луковицах растений, выращенных на почвах с самым низким содержанием марганца (130 и 180 мг/кг), количество марганца составляло 20 (лист), 23 (луковица) и 30 (лист), 13 (луковица) мг/кг сухой массы, а на гораздо более богатых этим микроэлементом почвах (1100 и 2000

мг/кг) оно было почти таким же – 15 (луковица) и 21 (лист) мг/кг сухой массы соответственно. Резкие колебания в содержании некоторых микроэлементов вообще характерны для почв Республики Коми (Атлас..., 2010).

Накопление хрома также изменяется в широком диапазоне – от 1.5 до 12.8 мг/кг сухой массы, что значительно выше, чем для шнитт-лука (0.24-0.4 мг/кг) из Подмосковья (Голубев и др., 2003). Однако для этого микроэлемента также не было обнаружено какой-либо зависимости содержания от условий произрастания.

В большинстве растений не были обнаружены или обнаружены в следовых количествах ванадий и кобальт. Исключение составляет дикорастущий лук из окрестностей с. Гам, где содержание кобальта в листьях и луковицах составило 0.68 и 0.31 мг/кг сухой массы. Молибден был обнаружен только в культивируемых растениях (от 0.19 до 0.89 мг/кг сухой массы). В почве этот элемент не был найден, по-видимому, из-за очень низкого содержания, которое невозможно определить при данной чувствительности приборов.

На основании результатов, полученных при исследовании микроэлементного состава шести видов многолетних луков, произрастающих в средней полосе России, авторы (Голубев и др., 2003) разделили микроэлементы по степени аккумуляции в растении на две группы: с относительно небольшими вариациями в уровне накопления (стандартная вариация составляет 30-36%), к которым были отнесены **Fe, Mn, Zn, Cu, Sr, Se, и со значительными различиями (стандартная вариация достигает 80-120%), к которым относятся Ni, Co, Cr, Pb, Cd. Было высказано предположение, что относительное постоянство уровней накопления микроэлементов первой группы многолетними луками является их характерным признаком (Голубев и др., 2003). Полученные нами результаты для шнитт-лука, произрастающего в разных эколого-географических условиях, однозначно не подтверждают этого, по-видимому, вследствие их высокой вариабельности из-за больших колебаний в содержании микроэлементов в почвах республики.**

Ранее было обнаружено, что между отдельными парами элементов имеет место высокая корреляционная зависимость (Избирательное..., 1997; Голубкина и др., 2009). Нами положительная корреляционная зависимость была выявлена между содержанием только двух пар элементов – железо/алюминий и медь/цинк. Для остальных микроэлементов корреляционная зависимость между их содержанием в растении не выявлена.

Значения КБН (табл. 11) позволяют отнести шнитт-лук к аккумуляторам стронция, для 18 из 24 исследованных образцов КБН выше 1. Для большинства образцов шнитт-лука получены значения КБН (12 из 24 имеют КБН выше 1), позволяющие отнести его к аккумуляторам кадмия. В основном это растения-интродуценты из коллекции БС и лаборатории биохимии и биотехнологии. Самыми высокими аккумулялирующими свойствами, однако, обладает дикорастущий лук из Усть-Цилемского района (КБН = 1.7 для всего растения). Однако по абсолютным значениям содер-

Таблица 11

**Коэффициенты биологического накопления некоторых микроэлементов  
листьями (числитель) и луковицами (знаменатель) шнитт-лука**

Номер образца	Cu	Cd	Zn	Ni	Cr	Sr	Ba
12	1/1	0.5/0.9	1.0/1.3	0.1/0.3	0.3/0.6	1.1/4.4	0.3/0.9
13	0.4/0.5	0.7/1	0.5/0.7	0.04/0.1	0.1/0.1	1.1/2.0	0.2/0.4
14	0.5/0.6	-/0.6	0.5/0.7	0.1/0.3	0.2/0.3	1.5/3.0	0.3/0.4
15	0.3/0.6	1.1/0.9	0.4/0.7	0.0/0.2	0.1/0.2	3.0/2.0	0.6/0.3
16	0.8/0.6	1.4/2.3	1.2/1.1	0.2/0.4	0.3/0.3	2.4/4.1	0.5/0.6
17	1.1/0.6	1.1/1.1	1.0/1.0	0.6/0.3	1.1/0.2	4.0/3.6	0.9/0.7
18	-/0.8	-/0.4	-/0.5	-/0.2	-/0.6	-/3.3	-/0.4
19	0.7/1.3	0.2/1.3	0.9/0.6	0.4/0.4	0.4/0.5	4.5/2.6	0.5/1.3
20	1.1/0.8	1.7/0.4	0.7/0.5	1.0/0.2	0.3/0.6	3.3/3.3	1.2/0.4
21	0.5/0.6	1.4/2	0.8/1.1	0.1/0.1	0.2/0.2	0.9/1.6	0.1/0.2
22	0.3/0.3	0.5/0.2	0.3/0.5	0.1/0.4	0.1/0.8	1.0/1.2	0.2/0.1
23	0.2/0.2	0.7/0.8	0.4/0.5	0.1/0.1	0.2/0.1	1.3/0.9	0.2/0.1
25	0.4/0.3	1.0/1.1	0.5/1.3	0.3/0.7	0.4/0.8	1.1/1.5	0.2/0.2
26	0.5/0.3	0.6/0.8	0.5/0.5	0.6/0.5	1.0/1.2	0.8/0.9	0.2/0.2
27	0.4/0.2	1/0.9	0.5/0.6	0.3/0.5	0.6/0.8	1.0/1.0	0.3/0.2
28	0.5/0.4	0.7/1	0.6/1.1	0.2/0.4	0.3/0.3	2.0/3.1	0.5/0.7
29	0.4/0.4	0.3/0.5	0.5/0.5	0.3/0.2	0.3/0.1	0.5/0.7	0.1/0.1
30	0.5/0.4	0.5/0.4	0.6/0.5	0.4/0.2	0.6/0.2	0.9/0.8	0.2/0.2
31	0.3/0.2	0.5/0.5	0.5/0.5	0.1/0.1	0.3/0.1	1.0/0.7	0.2/0.2
32	0.5/0.3	1.1/0.7	0.7/0.6	0.3/0.5	0.4/0.9	2.4/1.0	0.5/0.3
35	0.2/0.3	1.7/1.7	0.9/1.2	0.1/0.4	0.2/0.2	14/17	5.6/5.6
39	0.1/0.1	0/0.08	0.1/0.4	0.01/0.01	0.01/0.03	0.5/0.9	0.1/0.1
40	0.1/0.1	0.3/0.4	0.2/0.3	0.02/0.03	0.04/0.04	0.2/0.4	0.1/0.1
42	0.3/0.4	0.4/0.8	0.2/0.5	0.04/0.1	0.1/0.2	0.8/1.5	0.3/0.4

*Примечание.* Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 2.

жание этих микроэлементов не превышает предельно допустимых концентраций. Было показано, что шнитт-лук при культивировании на водной среде может накапливать кадмий до 0.5% сухой массы, что позволило авторам считать его перспективным растением для фиторемедиации почв, загрязненных этим элементом (Cadmium..., 2004).

Лишь некоторые образцы шнитт-лука являются аккумуляторами меди и цинка (КВН = 1.0-1.3), в среднем КВН для этих элементов составляет 0.8 и 0.7 соответственно.

#### **4.5 Селен и экспериментальное повышение его содержания в шнитт-луке**

Шнитт-лук является аккумулятором селена (Se), который с недавнего времени считается эссенциальным элементом в питании человека. В литературе неоднократно отмечались высокие антиоксидантные свойства многолетних луков, обусловленные наличием особых органических форм селена и высокими концентрациями витамина С и флавоноидов. В большинстве овощных культур селен накапливается в очень малых или даже следовых коли-

чествах. Однако при повышении его содержания в почве он ингибирует рост растений и усвоение других микро- и макроэлементов (Битюцкий, 2011).

Хотя систематических исследований по определению содержания селена в почвах Республики Коми не проводили, и она в этом отношении является белым пятном на карте России, на основании полученных нами результатов почвы нашей северной республики можно отнести к селенодефицитным или почвам с маргинальной недостаточностью (Селенодефицит..., 2011; Ширшова и др., 2018). Почва, отобранная из отдаленной ризосферной зоны шнитт-лука, содержит очень низкие концентрации селена (табл. 12), однако для большинства растений значения КБН выше или равны 1. Концентратором селена в шнитт-луке является луковица. Наибольшее содержание микроэлемента обнаружено в луковицах исходного вида (обр. 1, 2 и 8) с самыми высокими значениями КБН: 1.3/0.9, 1.4/0.9 и 1.4/1.2 соответственно.

По содержанию селена листья шнитт-лука значительно уступают как узколистной, так и широколистной форме этого вида из Подмосковья (Голубев и др., 2003), однако и в этом случае КБН их достаточно высок. Разновидность *A. schoenoprasum* var. *major* и сортовой образец *A. schoenoprasum* Р.К. имеют довольно низкие

Таблица 12

**Содержание селена в листьях и луковицах шнитт-лука,  
мкг/кг сухой массы**

№ п/п	Место сбора образца	Фаза развития	Содержание селена (луковица/лист/почва)	КБН (луковица/лист)
1	Интродуцент, БС ИБ, получен семенами из ГУ ВИЛАР, г. Москва	Бутонизация	174/121/131	1.3/0.9
2	Северный Урал, РК, берег р. Илыч	Бутонизация	217/136/158	1.4/0.9
3	Село Гам, Усть-Вымский район, РК	Бутонизация	92/64/116	0.8/0.6
4	Окрестности пос. Советский, г. Воркута, РК	Цветение	137/152/157	0.9/1.0
5	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из ГБС РАН, г. Москва	Отрастание	117/111/112	1.0/1.0
6		Бутонизация	126/116/117	1.1/1.0
7		Цветение	102/114/115	0.9/1.0
8		Плодоношение	155/138/115	1.4/1.2
9*	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из Южно-Алтайского БС АлтГУ, г. Барнаул	Бутонизация	128/83/184	0.7/0.5
10**	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из БИН, г. Санкт-Петербург	Бутонизация	129/106/201	0.6/0.5
11**	Интродуцент, КЛББ. Получен семенами из БС	Бутонизация	54/63/88	0.6/0.7

*Примечание.* \* Сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova*; \*\* разновидность *A. schoenoprasum* var. *major*.

значения КБН, на которые не влияет и большая разница в содержании селена в почве – 201 мкг/кг для обр. 10 и 88 мкг/кг для обр. 11 (табл. 12).

При переходе от фазы отрастания к фазе бутонизации содержание селена как в листьях, так и в луковицах шнитт-лука возрастает, при этом аккумулятором микроэлемента по-прежнему остается луковица. В фазе цветения его концентрация в луковице значительно снижалась, в то время как в листьях это снижение было гораздо менее значительно. Максимальное накопление селена как в луковицах, так и в листьях происходило в фазе плодоношения. Наибольшее содержание микроэлемента было обнаружено в бутонах (140 мкг/кг сухой массы), несколько ниже оно в луковицах и листьях (126 и 116 мкг/кг сухой массы соответственно), самое низкое содержание – в корнях и покровных чешуях (111 и 98 мкг/кг сухой массы). По мнению некоторых авторов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), способность селена накапливаться в репродуктивных органах характерна для всех растений.

Основными факторами, определяющими аккумуляцию селена, являются химическая форма этого элемента и уровень его содержания в почвах. Диапазон валового содержания селена в почвах чрезвычайно широк и зависит от многих факторов. Иногда в одном районе на разных участках содержание этого элемента в почве может различаться в десятки или даже в сотни раз. В Подмосковье средние значения валового содержания селена составляют 220-260 мкг/кг, в Республике Молдова – от 265 до 355 мкг/кг, но на некоторых участках, например, в районе р. Днестр, они достигают 1440 или даже 1910 мкг/кг (Капитальчук и др., 2006; Капитальчук, Голубкина, 2008; Влияние..., 2015). Почвы Республики Коми обеднены селеном (табл. 12), содержание его варьирует в пределах 88-201 мкг/кг (Ширшова и др., 2018). Однако какой-то корреляции между содержанием общего селена в почвах и его концентрацией в шнитт-луке нами выявлено не было, что согласуется с известными данными литературы о малой информативности валового содержания селена в почве (Капитальчук, Голубкина, 2008). Подтверждается только высказанное некоторыми авторами (Битюцкий, 2011) и показанное нами в данной работе на примере других микро- и макроэлементов предположение об ингибирующем действии высоких концентраций элементов в почве на их аккумуляцию растениями.

В условиях недостатка или отсутствия селена в почве все более актуальным становится обогащение этим микроэлементом продуктов питания при выращивании продукции растениеводства. Содержание селена в растениях зависит в первую очередь от его аккумуляции из почвы и наличия доступных для растений форм. Для этих целей применяются селенсодержащие удобрения в дозах, установленных для конкретных растений с целью поддержания его максимально допустимого уровня. Обогащение почв селеном способствует повышению урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным фак-

торам (Вихрева и др., 2009; Долгодворова, Воронина, 2012). Показано положительное действие селеносодержащих соединений на стрессоустойчивость зерновых культур к неблагоприятным факторам среды – засухе, недостатку влаги, дефициту воды в воздухе, засоленности почвы, гипертермии, кислотной реакции почвенного раствора (Alseber, 1989; Prasad, 1994; Серегина, 2007; Скрышник, 2009; Вихрева, 2011), а также положительное влияние селеносодержащих удобрений на продуктивность зерновых культур (Шукин и др., 2005; Ревенский, Зонхоева, 2007; Нимажалова, Абашева, 2009; Долгодворова, Воронина, 2012). Обнаружено, что предпосевная обработка семян ржи, пшеницы, фасоли водными растворами солей селена способствовала активации их прорастания на начальных этапах онтогенеза, повышала продуктивность и урожайность. Предполагают, что эти эффекты могут быть связаны с повышением интенсивности фотосинтеза. Было показано, что обработка семян фасоли водным раствором селенита натрия с концентрацией селена 0.001% способствовала повышению на стадии плодоношения содержания хлорофилла *a* в листьях растения на 54.9% по сравнению с контрольными растениями, а хлорофилла *b* – на 80% (Обручева, Антипова, 1997; Усубова и др., 2012).

Экспериментальное повышение селенового статуса шнитт-лука, как показали наши исследования, влияет на биохимические и морфологические показатели развивающегося растения (Морфологические..., 2017). Были выявлены наиболее эффективные способы введения селената натрия для накопления селена в концентрациях, не превышающих ПДК (табл. 13). Фенологические наблюдения показали, что обработка семян раствором селената натрия влияла на темпы роста растений на начальных этапах онтогенеза, увеличив скорость их прорастания и всхожесть по сравнению с контролем. Максимальная всхожесть отмечена для обр. 6 и 7 после намачивания в 0.001%-ном, а также для обр. 4, 5 после намачивания в 0.005%-ном растворе селената натрия. Семена контрольной группы (обр. 1-3) имели самую низкую всхожесть (рис. 24).

Таблица 13

**Методы обработки семян и развивающихся растений шнитт-лука растворами селената натрия**

Номер образца	Намачивание семян в 0.001%-ном растворе $\text{Na}_2\text{SeO}_4$	Намачивание семян в 0.005%-ном растворе $\text{Na}_2\text{SeO}_4$	Однократная подкормка растений 1.5 мг $\text{Na}_2\text{SeO}_4/\text{кг}$ почвы	Трехкратная подкормка растений 0.5 мг $\text{Na}_2\text{SeO}_4/\text{кг}$ почвы
1	Контроль			
2	–	–	X	–
3	–	–	–	X
4	–	X	–	–
5	–	X	X	–
6	X	–	–	–
7	X	–	X	–

Примечание. X – действие, проводимое над объектом.

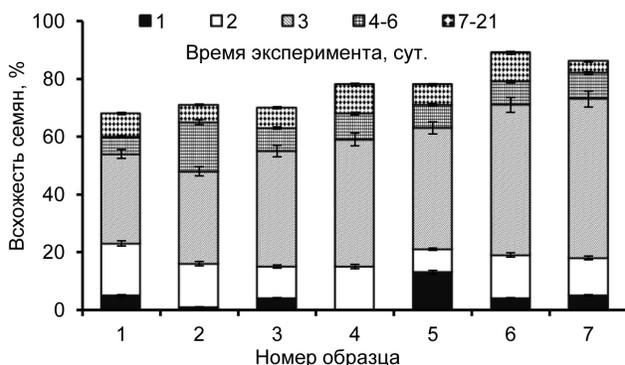


Рис. 24. Всхожесть семян шнитт-лука после обработки селенатом натрия.

Установлено влияние селената натрия на активность ростовых процессов и изменение морфологических признаков растений: проведенные через три месяца после посадки промеры длины корней, луковок и листьев показали значительные отличия в морфологии луковок (табл. 14). В контроле (обр. 1) луковки имели округлую форму длиной 1 см, а растения, выращенные из семян после намачивания или подкормки растворами селената натрия, имели вытянутые луковки, максимальная длина которых составила 5.3 см (обр. 5, получивший максимальную дозу селената натрия). Отличий в морфологии луковок, выращенных из семян после намачивания в растворах селената разных концентраций (обр. 4, 6), не обнаружено; длина их составила 3.2 и 3.3 см соответственно. На изменение морфологии луковок и корней оказывало влияние количество подкормок: при однократной подкормке (1.5 мг/кг почвы) морфологические изменения были меньше, чем при трехкратной подкормке (0.5 мг/кг почвы). Максимальная длина

Таблица 14

**Влияние селената натрия на длину различных частей развивающегося растения шнитт-лука первого года вегетации, см**

Номер образца	Часть растения	
	Корень	Луковка
1	7.5±1.5	1.0±0.3
2	6.1±0.9	3.0±0.5
3	5.9±1.3	3.5±0.6
4	7.2±1.3	3.2±0.4
5	5.0±1.0	5.3±0.7
6	5.6±1.0	3.3±0.4
7	4.8±0.7	3.1±0.2

*Примечание.* Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 13; ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при P = 0.95.

на корней была обнаружена у контрольного образца, минимальная – у обр. 5 и 7, которые были обработаны растворами селената натрия с последующей однократной подкормкой 1.5 мг/кг почвы. Повышение содержания селена намачиванием семян в растворах селената натрия, а также внесение его в почву оказывало влияние на морфологию развивающегося растения – приводило к уменьшению длины корней, увеличению длины луковок в зависимости от концентрации селената натрия. На длину листа растений первого года жизни селенат натрия оказывал незначительное влияние, наиболее су-

ществленные морфологические различия проявились на второй год (рис. 25). Наибольшая длина листа была у растений, получивших селен при корневой подкормке (обр. 2, 3). Наименьшая длина листа и в этом случае была у обр. 7, что подтверждает мнение об ингибирующем влиянии избытка селена на рост растений. В литературе имеются сведения, что при внесении в почву 2 мг/кг селена наблюдалось снижение урожайности некоторых сельскохозяйственных культур. Установлены критические концентрации селена в побегах, ингибировавшие рост растений: для капусты сарептской *Brassica juncea* Czern L. – 105, кукурузы – 41, риса и пшеницы – 19 мкг/г. В дозе больше 1.5–3.0 мг/кг почвы селен накапливался в этих растениях до токсичного для потребления животными уровня – больше 5 мг/кг биомассы (Rani et al., 2005). При концентрации селена в почве больше 0.5 мг/кг продукция растениеводства токсична для животных (Dhillon, Dhillon, 2004). Для растений токсичны селенаты и селениты, которые быстро поглощаются и включаются в метаболизм (Wu et al., 1988).

До настоящего времени нет четкого понимания взаимного влияния макро- и микроэлементов, зависимости их содержания в растении от дополнительного введения селена тем или иным образом. Отличные результаты были получены в Финляндии, где использование удобрений, содержащих селенат натрия, позволило более чем вдвое увеличить потребление населением этого микроэлемента и достичь уровня, отвечающего максимальной активности селенозависимой глутатионпероксидазы тромбоцитов (Aro et al., 1995; Aspila, 2005). Было отмечено, что использование селената натрия в качестве компонента удобрений позволило снизить аккумуляцию тяжелых металлов во всех звеньях пищевой цепи (Голубкина, Папазян, 2006).

В наших экспериментах дополнительное введение селена приводило к существенным изменениям. В листьях растений перво-

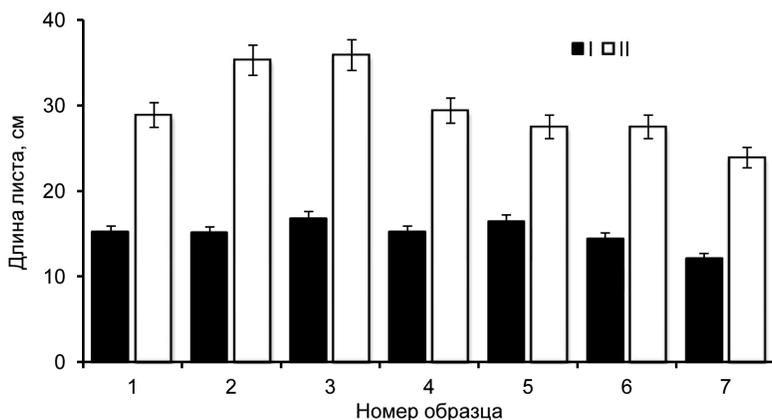


Рис. 25. Длина листа шнитт-лука, обогащенного селеном, первого (I) и второго (II) года вегетации.

Таблица 15

**Содержание селена в листьях шнитт-лука первого и второго года вегетации  
(мг/кг сухого вещества)**

Номер образца	Первый год вегетации		Второй год вегетации	
	Содержание	КБН	Содержание	КБН
1	0.04	0.3	0.10±0.05	0.8
2	1.9±1.0	12.7	0.10±0.05	1.0
3	1.9±1.0	5.3	0.10±0.05	0.4
4	8.0±4.0	50.0	0.18±0.09	1.8
5	17.0±8.0	77.3	0.51±0.26	3.4
6	6.0±3.0	27.3	0.35±0.18	2.2
7	70±40	333.3	2.2±1.1	22.0

Примечание. Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 13.

Таблица 16

**Содержание некоторых микроэлементов в листьях шнитт-лука  
с повышенным селеновым статусом первого (верхняя строка)  
и второго (нижняя строка) года вегетации (мг/кг сухого вещества)**

Элементы	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
Fe	770±220 64±18	760±210 57±16	320±90 71±20	340±100 61±17	440±120 64±18	390±110 73±20	220±60 55±15
Al	1070±280 54±14	1120±290 40±10	450±120 45±12	510±130 45±12	670±170 58±15	570±150 69±18	320±90 45±12
Cu	5.6±1.1 3.0±0.6	7.4±1.5 3.2±0.6	4.3±0.9 4.5±0.6	6.2±1.2 4.0±0.6	5.7±1.1 3.0±0.6	4.4±1.0 3.0±0.6	4.1±0.8 2.9±0.6
Zn	19±4 18±4	16±3 18±4	17±3 24±5	17±3 22±4	18±4 16±3	17±3 17±3	17±3 15±3
Mn	42±12 18±6	36±11 19±6	23±7 27±8	25±7 22±7	26±8 16±5	25±7 18±5	19±6 16±5
Cr	2.5±0.5 0.29±0.06	2.7±0.5 0.44±0.08	1.45±0.29 2.4±0.5	1.39±0.28 0.24±0.05	1.7±0.3 0.23±0.06	1.6±0.3 0.17±0.03	1.20±0.24 0.37±0.07
Ni	7.8±2.7 0.9±0.3	8.1±2.8 1.2±0.4	4.2±1.5 2.3±0.8	4±1.4 1.3±0.4	4.4±1.5 0.84±0.29	4.8±1.7 0.83±0.29	3.7±1.3 1.0±0.4
Pb	2.5±0.6 0.5	2.3±0.6 0.5	1.3±0.3 0.64	1.4±0.3 0.5	1.3±0.3 0.5	0.94±0.24 0.5	0.88±0.22 0.5
Cd	0.14±0.07 0.1	0.12±0.06 0.1	0.1±0.06 0.13	0.12±0.06 0.1	0.11±0.06 0.1	0.11±0.06 0.1	0.12±0.06 0.1
Co	0.43±0.01 0.1	0.42±0.01 0.1	0.18±0.01 0.1	0.21±0.01 0.1	0.24±0.01 0.1	0.22±0.01 0.1	0.15±0.01 0.1
Mo	10±4 0.38±0.15	7.2±2.9 0.16±0.06	10±4 0.55±0.22	11±4 0.24±0.10	8±3 0.13±0.05	12±5 0.9±0.4	20±8 1.2±0.5
Ba	15±4 8±2.4	14±4 9.2±2.8	9.6±2.9 12±3	10±3 11±3	11±3 12±4	10±3 8.2±2.5	7.2±2.2 8.9±2.7
V	2.1±0.5 0.1	2.1±0.5 0.1	0.92±0.23 0.1	1.02±0.25 0.1	1.3±0.3 0.1	1.13±0.28 0.1	0.65±0.16 0.1
Sr	36±11 24±7	29±9 28±8	28±8 35±11	26±8 31±9	27±8 27±8	28±8 26±8	25±7 28±8
As	0.04±0.01 0.1	0.31±0.01 0.1	0.15±0.01 0.1	0.14±0.01 0.1	0.19±0.01 0.1	0.19±0.01 0.1	0.12±0.01 0.1

Примечание. Номера образцов соответствуют приведенным табл. 13; ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при p = 0.95.

го года вегетации его содержание во всех случаях возросло многократно, особенно в обр. 4-7, где оно значительно превысило ПДК, и, следовательно, такие растения становятся токсичными для человека (табл. 15).

Как показали наши исследования, слишком высокие концентрации вводимого селена влияют не только на его содержание, но на онтогенез и морфологические показатели. Например, растения (обр. 7), получившие максимальное количество Se в результате намачивания семян и однократной подкормки 1.5 мг/кг почвы, по всем показателям отличались от других: избыток Se ингибировал рост растения – они имели минимальную длину корней и листьев по сравнению с другими образцами. На второй год вегетации содержание селена в контроле возросло с 0.04 до 0.1 мг/кг (в 2.5 раза), но в экспериментальных образцах оно существенно упало. Однако высокие значения КБН в большинстве растений сохранились (табл. 15). Полученные результаты свидетельствуют о том, что шнитт-лук очень хорошо аккумулирует селен и может накапливать его в количествах, значительно превышающих ПДК.

Дополнительное введение селена оказывало ингибирующее действие на усвоение растением других микроэлементов, особенно в растениях первого года вегетации. В листьях селенобогатенного шнитт-лука первого года жизни наблюдали снижение содержания микроэлементов по сравнению с контролем, особенно значительное для железа, алюминия и марганца (табл. 16). Для растений второго года жизни такой эффект обнаружен не был.

Таблица 17

**Содержание макроэлементов в листьях шнитт-лука с экспериментально повышенным селеновым статусом первого и второго года вегетации, мг/кг сухого вещества**

Номер образца	Ca	Mg	K	P	S
1	9200±2800	2800±800	14000±6000	2600±800	2600±800
	6700±2000	1500±400	13000±5000	2900±900	3600±1100
2	7200±2200	2100±600	10000±4000	2100±600	1900±600
	7600±2300	1600±500	15000±6000	3200±1000	4300±1300
3	7400±2200	1800±500	11000±4000	2200±700	2100±600
	9700±2900	1500±400	19000±8000	4300±1300	5000±1500
4	6900±2100	1900±600	11000±4000	2200±700	2700±800
	8600±2600	1800±500	16000±6000	3600±1100	4500±1400
5	7000±2100	2000±600	11000±4000	2400±700	3500±1100/
	7200±2100	1400±400	15000±6000	2700±800	3400±1000
6	7400±2200	2100±600	11000±4000	2200±700	2800±800
	7400±2200	1300±400	14000±5000	2900±900	4000±1200
7	7200±2200	1700±500	12000±5000	2300±700	3700±1100
	8700±2600	1300±400	15000±6000	2900±900	4800±1400

*Примечание.* Верхняя строка – содержание элементов в первый год вегетации; нижняя строка – содержание элементов во второй год вегетации; номера образцов соответствуют приведенным в табл. 13; ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при  $p = 0.95$ .

Таблица 18

**Содержание общего азота и азота аминокислот в листьях шнитт-лука  
с экспериментально повышенным содержанием селена**

Номер образца	Массовая доля общего азота в сухом веществе, %	Массовая доля азота аминокислот от общего азота, %
1	1.8±0.3	56.3
2	2.2±0.4	49.2
3	2.2±0.4	50.5
4	1.9±0.3	53.2
5	1.8±0.3	48.2
6	1.9±0.3	51.6
7	1.8±0.3	47.4

*Примечание.* Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 13; ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при  $p = 0.95$ .

Дополнительное введение селена влияло и на содержание макроэлементов. В листьях растений с экспериментально повышенным содержанием селена в первый год вегетации наблюдалось снижение концентрации кальция, магния, калия и фосфора по сравнению с контролем (табл. 17). На второй год жизни содержание кальция, магния и калия в контроле уменьшилось, а фосфора и серы возросло. В листьях экспериментальных образцов увеличилось содержание всех макроэлементов, кроме магния.

Дополнительное введение селена в основном не влияло на содержание общего азота в листьях шнитт-лука. Однако массовая доля азота аминокислот снижалась по сравнению с контролем (обр. 1, табл. 18).

#### 4.6 Аскорбиновая кислота

Данные литературы о содержании аскорбиновой кислоты в растениях рода *Allium* крайне разноречивы, что объясняется различиями в районах произрастания, сроках сбора сырья, а также в методах ее определения (Шмидт, 1941; Шифрина, 1955; Селютина, 2007; Тухватуллина, 2010). Шнитт-лук в прибрежной зоне р. Оби содержит 74.5 мг% витамина С; в дикорастущем луке Кузнецкого Алатау содержание витамина С колеблется в пределах 110-220 мг%. В пере лука-батун в зависимости от географических условий его содержание варьирует от 20 до 92.3 мг%. Показано, что при культивировании шнитт-лука в парнике под стеклом содержание витамина С **значительно выше, чем при выращивании в открытом парнике или в парнике с рамой, покрытой пленкой** (Федорова, 1948). Установлено также, что в условиях полярной станции Всесоюзного института растениеводства 12-часовой световой день является наиболее благоприятным для накопления витамина С в луке репчатом (Иллювиев, Иванова, 1934), а затемнение понижает его содержание в л.-батуне (Жорякина, 1945).

Согласно данным литературы (Чупахина, 1977), шнитт-лук и л.-батун наиболее богаты аскорбиновой кислотой на третьем году вегетации. Однако увеличение ее количества не следует целиком

относить за счет возраста растения. Сказываются также погодные условия в разные годы вегетации. Содержание аскорбиновой кислоты в течение вегетационного периода изменяется в отдельные годы у различных видов многолетнего лука по-разному. Шнитт-лук устойчивее к погодным условиям, характер изменения содержания аскорбиновой кислоты в нем остается довольно постоянным в различные годы вегетации, чего не наблюдается у л.-батунa (Шифрина, 1955).

Обычно лук используется в качестве вкусо-ароматической добавки в небольших количествах (10-20 г). Это количество свежего лука может обеспечить поступление лишь незначительной части витаминов группы В (менее 2% от суточной потребности) и Е (менее 1.4%). Но в то же время такое количество лука содержит в среднем 15 мг аскорбиновой кислоты и от 1.0 до 2.5 мг каротиноидов при рекомендуемом потреблении 70 мг витамина С и 5 мг каротиноидов. Следовательно, включение в рацион свежего пера лука даже в незначительных количествах вносит ощутимый вклад в обеспечение организма этими витаминами (Витаминный..., 2002).

Исследования, проведенные в Башкортостане (Тухватулина, 2010), показали, что в период весеннего отрастания надземной зеленой массы разных видов лука в среднем накапливается 70-90 мг% аскорбиновой кислоты, 16.9-33.4 мг/кг каротина, 15.2-23.6% протеина (в расчете на абсолютно сухое вещество). В целом у всех исследованных видов корневищных луков средние значения накопления аскорбиновой кислоты не опускаются ниже 70 мг%, что значительно выше, чем у таких широко используемых зеленых растений, как салат, щавель и сельдерей (Шифрина, 1955, Антиоксидантная..., 2010).

В листьях культивируемого в БС шнитт-лука и его разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* максимальное количество аскорбиновой кислоты было обнаружено в фазе отрастания (сбор 2010 г.). Дикорастущие образцы отличаются гораздо меньшим ее содержанием. При переходе растения из фазы отрастания в фазу плодоношения наблюдалось его уменьшение (табл. 19).

Как известно, аскорбиновая кислота довольно быстро разрушается. Длительное хранение содержащих ее продуктов приводит к значительным потерям. Было установлено, что в процессе хранения при  $-18^{\circ}\text{C}$  снижение содержания витамина С составляет 15-20% в быстро замороженных и 22-24% в медленно замороженных продуктах. Потери аскорбиновой кислоты в быстро замороженной плодовоовощной продукции пропорциональны времени хранения и возрастают в логарифмической зависимости при увеличении температуры хранения. При девятимесячном хранении в холодильнике при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  содержание аскорбиновой кислоты в ягодах смородины снижается в среднем на 31-39%. Причины нежелательного снижения аскорбиновой кислоты в замороженных плодах связаны с нарушением ферментативного окислительно-восстановительного процесса. При заморозке активность ферментов резко снижается. При размораживании окислительные фер-

Таблица 19

Содержание аскорбиновой кислоты в листьях шнитт-лука,  
мг/100 г влажного сырья

Номер образца	Вид	Происхождение, место сбора	Фаза вегетации	Содержание
1	<i>A. schoenoprasum</i>	БС	Отрастание	81±2
			Бутонизация	54±2
			Цветение	35±1
			Плодоношение	25±1
2	<i>A. schoenoprasum</i> <i>var. major</i>	КЛББ (БИН РАН) Санкт Петербург, 1998)	Бутонизация	72±2
			Цветение	34±1
			Плодоношение	34±1
3	<i>A. schoenoprasum</i>	Дикорастущий, Усть-Вымский район (с. Гам)	Бутонизация	42±1
4	<i>A. schoenoprasum</i>	Дикорастущий, окрестности г. Сыктывкара (местечко Алешино)	Цветение	33±1
5	<i>A. schoenoprasum</i>	Дикорастущий, Усть-Цилемский район, Верхнецилемский заказник	Цветение	22±1
6	<i>A. schoenoprasum</i>	Дикорастущий, г. Воркута, р. Воркута, пос. Цементно-заводской	Цветение	18±1
7	<i>A. schoenoprasum</i>	Дикорастущий, г. Воркута, р. Уса, пос. Советский	Цветение	26±1

Примечание. ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при  $p = 0.95$ .

менты частично восстанавливают свою активность и аскорбиновая кислота необратимо окисляется (Алмаши и др., 1981; Рязанова, Васильева, 2001; Рязанова и др., 2001; Мукайлов, Гусейнова, 2004; Короткая, Короткий, 2006). Превращения аскорбиновой кислоты в замороженных плодах и овощах приводят к ее окислению до физиологически активной дегидроаскорбиновой кислоты и затем до неактивной 2,3-дикстогулоновой кислоты.

Сведений об изменении содержания аскорбиновой кислоты в зеленом луке при замораживании и длительном хранении на холоде в литературе нами не было обнаружено. Высказывается мнение, что превращения аскорбиновой кислоты обусловлены ферментативными процессами, катализируемыми, в частности, аскорбиназами, фенолазами и тканевыми пероксидазами, или же химическими процессами, происходящими особенно интенсивно в среде с повышенным рН. В связи с этим потери витамина С при хранении замороженных овощей часто выше, чем при хранении замороженных плодов (Мукайлов, Гусейнова, 2004).

Нами была исследована динамика изменения содержания аскорбиновой кислоты в гомогенатах листьев *A. schoenoprasum var. major* при хранении в различных условиях. Для этого помещали гомогенаты в холодильную камеру с температурой +3 °С и в морозильную камеру с температурой -23 °С. Для контроля часть гомогената хранили при комнатной температуре. После хранения в течение трех суток максимальное содержание аскорбиновой кислоты сохранилось в гомогенате, хранившемся в холодильной ка-

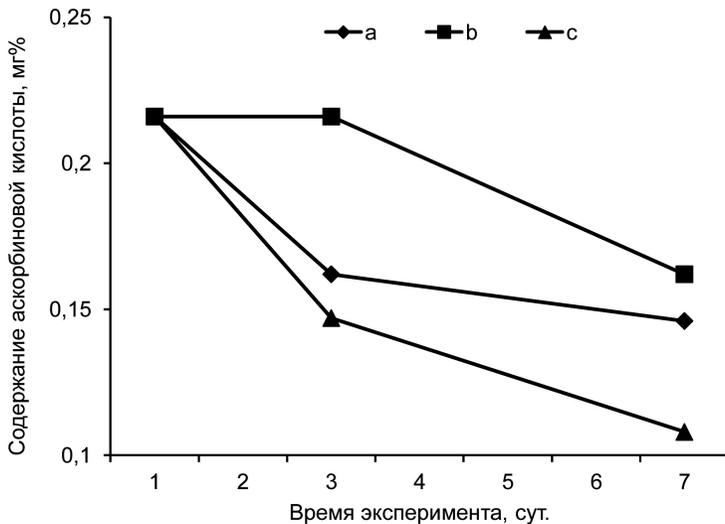


Рис. 26. Содержание аскорбиновой кислоты в гомогенатах листьев *A. schoenoprasum* var. *major* в процессе хранения в различных условиях: а – +23 °С; б – +3 °С; с – -23 °С.

мере, изменение содержания аскорбиновой кислоты было незначительным (рис. 26). В гомогенатах, хранившихся при комнатной температуре и в морозильной камере, произошло значительное снижение ее содержания (на 23 и 32% соответственно). На седьмые сутки максимальное снижение содержания аскорбиновой кислоты наблюдалось в образце, помещенном в морозильную камеру (50%). В гомогенате, хранившемся при комнатной температуре, оно составило 32%. Наименьшая потеря наблюдалась при хранении в холодильной камере (25%).

Таким образом, наилучшими условиями можно считать хранение лука в холодильной камере при температуре +3 °С, при которой наблюдается наименьшая потеря аскорбиновой кислоты и сохраняются все органолептические свойства гомогената (цвет, запах, консистенция). При хранении в условиях комнатной температуры наблюдалось более значительное снижение содержания кислоты и ухудшение органолептических свойств – масса приобрела темно-зеленый цвет, неприятный запах гнилого лука и коллоидную консистенцию, образовав темно-зеленые хлопья по всему объему. При хранении в морозильной камере органолептические свойства гомогената не претерпевали изменений, но количественная потеря витамина С на седьмые сутки составила 50%.

## Глава 5

### БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ *ALLIUM SCHOENOPRASUM*

#### 5.1 Оценка антиоксидантной активности экстрактов шнитт-лука

Неизбежным следствием аэробного метаболизма является продуцирование живыми клетками активных форм кислорода (АФК), которые могут повреждать все биологические макромолекулы, нарушая функции мембран, ферментативную активность и вызывая повреждения ДНК. В ходе эволюции организмы приобрели защитные системы, позволяющие поддерживать концентрацию АФК на безопасном уровне. Однако в определенных ситуациях она может превышать этот уровень, вызывая окислительный стресс. В настоящее время накоплены данные, указывающие на то, что одной из основных причин патологических изменений в человеческом организме, приводящих к преждевременному старению, заболеваниям сердечно-сосудистой, эндокринной систем и онкологическим болезням, является избыточное накопление АФК (Барабой, 1993; Москалев, 2013).

Для фармакологической коррекции окислительного стресса широко используют природные антиоксиданты, в первую очередь флавоноиды с их широким спектром биологической активности. Особенно эффективно природное сочетание биофлавоноидов, содержащихся в овощах, ягодах, фруктах, семенах (Минаева, 1978; Флавоноиды..., 2013). В настоящее время во многих странах разрабатывают программы антиоксидантной защиты населения с использованием продуктов функционального питания и растительной пищи, обладающей лекарственными свойствами. Комплексное исследование экстрактов лекарственных растений Сибири и Урала с применением общепринятых химических методов и микробных тест-систем позволило выявить виды растений, экстракты которых обладают высокой антиоксидантной активностью (АОА). Обнаружено, что экстракты могут оказывать антиоксидантное действие на бактерии как путем прямого взаимодействия их компонентов с оксидантами, так и косвенно – путем активации экспрессии генов антиоксидантной системы (Патент..., 1999; Смирнова и др., 2009; Assessment..., 2009; Evaluation..., 2010). Показано, что экстракты всех частей шнитт-лука проявляют высокую АОА благодаря наличию в них флавоноидов, хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов и витамина С (Steiner et al., 2004; Comparative..., 2011).

Таблица 20

## Содержание фенольных соединений, радикалсвязывающая (РСА) и хелатирующая (ХА) активность экстрактов шнитт-лука

Номер образца	Часть (орган) растения/экстракт	Фенольные соединения, мг/г воздушно-сухого сырья	РСА, IC <sub>50</sub> <sup>*</sup> , мг/г	ХА, EC <sub>50</sub> <sup>*</sup> , мг/г
1	Семена/96%-ный этанол	0	27 ± 2.6	53 ± 2.5
2	Семена/70%-ный этанол	0.16 ± 0.01	29 ± 1.5	18 ± 1.3
3	Семена/96%-ный этанол: хлороформ 5:1	0.12 ± 0.01	32 ± 3.2	150 ± 19
4	Луковица/96%-ный этанол	0.23 ± 0.01	18 ± 1.6	28 ± 1.3
5	Луковица/70%-ный этанол	0.19 ± 0.01	11.6 ± 1.2	39 ± 2.3
6	Луковица/96% этанол: хлороформ 5:1	0.17 ± 0.01	14.5 ± 1.0	38 ± 2.2

*Примечание.* IC<sub>50</sub> – количество исходного сырья, вызывающее 50%-ное ингибирование радикаловДФПГ в реакционной смеси; EC<sub>50</sub> – количество исходного сырья, связывающего 50% железа в реакционной смеси.

При изучении АОА экстрактов семян и луковиц шнитт-лука наиболее высокую радикалсвязывающую активность (РСА) в тесте с дифенилпикрилгидразилом (ДФПГ) показали экстракты луковиц (табл. 20), а наиболее высокая хелатирующая способность отмечена у экстракта семян (обр. 2).

АОА экстрактов оценивали по их способности поддерживать аэробный рост двух штаммов бактерий *E. coli* в присутствии 4 мМ перекиси водорода. Обработка бактерий растительными экстрактами в отсутствие оксиданта не оказывала существенного влияния на их рост (табл. 21). В то же время предобработка бактерий экстрактами за 20 мин до воздействия перекисью водорода значительно повышала устойчивость *E. coli* NM3021 к последующему воздействию оксиданта. Наибольший антиоксидантный эффект проявили экстракты луковиц (обр. 4). В отсутствие окислительного стресса все экстракты статистически значимо повышали экспрессию гена *katG*, кодирующего каталазу НР1 (табл. 22), которая является основным деструктором экзогенной H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в клетках *E. coli*.

Таблица 21

Удельная скорость роста (μ) бактерий *E. coli* NM3021 и NM3041 после предобработки экстрактами шнитт-лука в отсутствии (A<sub>1</sub>) и в присутствии (A<sub>2</sub>) 4 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Номер образца	NM3021 ( <i>katG::lacZ</i> )		NM3041 ( <i>rpoS::lacZ</i> )	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Контроль	0.81 ± 0.01	0.11 ± 0.02 (1.0)	0.92 ± 0.04	0.20 ± 0.03 (1.0)
1	0.92 ± 0.01	0.37 ± 0.05 (3.0)	1.08 ± 0.07	0.44 ± 0.02 (1.9)
2	0.91 ± 0.02	0.47 ± 0.05 (3.8)	1.00 ± 0.05	0.74 ± 0.05 (3.4)
3	0.84 ± 0.02	0.30 ± 0.03 (2.6)	0.90 ± 0.06	0.43 ± 0.03 (2.2)
4	0.78 ± 0.01	0.60 ± 0.03 (5.7)	0.88 ± 0.06	0.67 ± 0.08 (3.5)
5	0.92 ± 0.05	0.46 ± 0.07 (3.7)	0.84 ± 0.06	0.55 ± 0.06 (3.0)
6	0.90 ± 0.06	0.52 ± 0.03 (4.3)	1.03 ± 0.05	0.75 ± 0.03 (3.4)

*Примечание.* В скобках приведены значения АОА, которые рассчитывали, как (A<sub>2</sub>/A<sub>1</sub>)<sub>опыт</sub>:(A<sub>2</sub>/A<sub>1</sub>)<sub>контроль</sub>; нумерация экстрактов как в табл. 20.

Таблица 22

**Экспрессия генных слияний *katG::lacZ* и *rpoS::lacZ*  
в культурах *Escherichia coli*, предобработанных экстрактами шнитт-лука  
в отсутствие и присутствии 4 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Номер образца	NM3021 ( <i>katG::lacZ</i> )		NM3041 ( <i>rpoS::lacZ</i> )	
	Экстракт	Экстракт + 4 мМ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Экстракт	Экстракт + 4 мМ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Контроль	47 ± 1.7 (1.0)	73 ± 3 (1.0)	188 ± 12 (1.0)	364 ± 15 (1.0)
1	63 ± 6 (1.34)	70 ± 3 (0.96)	188 ± 14 (1.0)	286 ± 13 (0.79)
2	64 ± 3 (1.36)	81 ± 8 (1.11)	155 ± 8 (0.82)	175 ± 17 (0.48)
3	63 ± 3 (1.34)	84 ± 4 (1.15)	198 ± 15 (1.05)	309 ± 8 (0.85)
4	89 ± 7 (1.89)	144 ± 9 (1.97)	235 ± 16 (1.25)	176 ± 10 (0.48)
5	101 ± 8 (2.15)	160 ± 16 (2.19)	198 ± 8 (1.05)	171 ± 22 (0.47)
6	82 ± 5 (1.75)	127 ± 12 (1.74)	231 ± 10 (1.23)	204 ± 20 (0.56)

*Примечание.* В скобках приведены значения по отношению к контролю с диметилсульфоксидом; нумерация экстрактов как в табл. 20.

Повышение экспрессии *katG* под действием экстрактов может быть следствием накопления индуцирующих этот ген низких концентраций H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в среде при аутоокислении компонентов экстракта (Assessment..., 2009; Influence..., 2009). Ранее было показано, что антиоксидантное действие растительных полифенолов в культурах бактерий может быть связано с их прооксидантными свойствами, которые в свою очередь являются следствием способности полифенолов аутоокисляться с образованием небольших количеств H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Smith et al., 2003; Influence..., 2009). При совместном действии экстрактов и перекиси водорода происходило еще большее увеличение экспрессии *katG*. Наибольший эффект наблюдался при обработке бактерий экстрактами лукавиц *A. schoenoprasum* (обр. 5, табл. 22). Возрастание экспрессии гена *katG* приводит к повышению активности каталазы, что должно способствовать более быстрой деструкции добавленной H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и, соответственно, защите бактерии от повреждающего действия пероксида. Выявлена положительная корреляция между экспрессией гена *katG* и значением АОА для экстрактов ( $r = 0.79$ ,  $P < 0.05$ ), а также между экспрессией *katG* и РСА при обработке экстрактами в отсутствие перекиси водорода ( $r = 0.91$ ,  $P < 0.01$ ).

У *E. coli* ген *rpoS* контролирует большую группу генов общего стрессового ответа (general stress response). Известно, что экспрессия *rpoS* повышается при действии различных факторов, замедляющих рост, и обеспечивает защиту от многих стрессов. В отличие от гена *katG* все испытанные экстракты ингибировали экспрессию *rpoS* при их совместном действии с H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (табл. 22). Предполагается, что высокая активность генов OxyR-регулона обеспечивает достаточный уровень защиты от пероксида, вследствие чего отпадает необходимость для индукции RpoS-регулона (Zhang et al., 1998). Отмечена положительная корреляция между экспрессией *rpoS* (экстракт + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) и радикалсвязывающей ( $r = 0.71$ ,  $P < 0.05$ ) и хелатирующей ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.05$ ) активностью.

Для оценки биологической активности экстрактов кроме традиционных химических методов были использованы генно-инженерные штаммы бактерий *E. coli*, плазмиды которых несут слияния промоторов генов *katG* и *rpoS* со структурным геном  $\beta$ -галактозидазы, что позволяет судить о степени экспрессии этих генов по уровню активности  $\beta$ -галактозидазы. У *E. coli* ген *katG* кодирует каталазу **HP1, которая индуцируется в ответ на повышение концентрации  $H_2O_2$ .** *katG* вместе с рядом других генов входит в состав регулона, контролируемого транскрипционным фактором OxyR, координирующим адаптацию бактерий к окислительному стрессу, индуцируемому действием  $H_2O_2$  (Storz, Imlay, 1999). Ген *rpoS* кодирует  $\sigma^S$  субъединицу (RpoS) РНК-полимеразы и, таким образом, контролирует экспрессию большого числа генов общего стрессового ответа (general stress response), обеспечивая устойчивость ко многим стрессам (Loewen, Hengge-Aronis, 1994). Показано, что в культурах бактерий существенный вклад в антиоксидантное действие изучаемых экстрактов может вносить их способность активировать гены OxyR-регулона и влиять на активность RpoS-контролируемой системы общего стрессового ответа. Таким образом, экстракты могут оказывать антиоксидантное действие на бактерии несколькими разными путями, включая прямое ингибирование АФК и хелатирование ионов железа (II) и, косвенно, через индукцию антистрессовых регулонов (Оценка..., 2014).

Традиционно оценка АОА осуществляется по способности исследуемых образцов связывать устойчивые радикалы (например, ДФПГ). Однако степень повреждающего действия окислительного стресса у живых объектов существенно зависит от уровня свободного железа в клетках, способного участвовать в реакции Фентона, продуцирующей токсичные гидроксильные радикалы, и от характера ответа защитных систем самого организма на стресс. Поэтому комплексный подход, сочетающий определение радикалсвязывающей и хелатирующей активности исследуемых препаратов с анализом их влияния на экспрессию антиоксидантных генов и устойчивость организмов к окислительному стрессу, является наиболее перспективным.

Полученные нами данные о высокой АОА экстрактов шнитт-лука свидетельствуют о возможном усилении их активности при искусственном повышении селенового статуса. Обработка семян 0.001%-ным водным раствором  $Na_2SeO_4$  приводила к статистически достоверному повышению содержания селена в растительной массе, но не в экстрактах растений, выращенных из этих семян (обр. 2, табл. 23).

Содержание полифенолов является одним из маркеров АОА растительных субстанций. В наших условиях концентрация полифенолов в исследуемых образцах варьировала от 5.0 до 9.4 мг/г сухого экстракта (табл. 24). Наибольшее количество полифенолов по сравнению с контролем содержали экстракты листьев шнитт-лука, выращенного из семян, обработанных 0.001- и 0.005%-ным водным раствором  $Na_2SeO_4$  (обр. 2, 3;  $p < 0.05$ ). Подобный эф-

Таблица 23

**Экстракты листьев шнитт-лука с повышенным селеновым статусом,  
исследуемые на АОА**

Номер образца	Содержание селена в сухой массе растения, мг/кг	Содержание селена в экстракте, мг/кг	Примечание
1	0.10±0.05	0.10±0.05	Контроль
2	0.35±0.18	0.13±0.06	Растения, выращенные из семян, прошедших намачивание в 0.001%-ном водном растворе Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
3	0.18±0.09	0.10±0.05	Растения, выращенные из семян, прошедших намачивание в 0.005%-ном водном растворе Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
4	0.10±0.05	2.0±1.0	При экстракции использован 70%-ный этанол, содержащий 0.001% Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>
5	0.10±0.05	23.0±12.0	При экстракции использован 70%-ный этанол, содержащий 0.005% Na <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub>

Примечание. ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при p = 0.95.

фект повышения содержания фенольных соединений после предпосевной обработки семян раствором селенита натрия наблюдался у донника лекарственного *Melilotus officinalis* L., являющегося концентратом селена (Головацкая, Шипицына, 2010). Исходя из того, что полифенолы в растении участвуют в формировании устойчивости к факторам окружающей среды, авторы предполагают, что через регуляцию синтеза этой группы веществ происходит повышение селен-зависимой устойчивости растений.

В экстрактах, искусственно обогащенных неорганическим селеном, количество полифенолов было значительно меньше по сравнению с контролем (в 1.6 и 1.7 раза для обр. 4 и 5 соответственно). Возможно, присутствие селената натрия в этаноле могло снижать эффективность экстракции полифенолов из растительно-го сырья.

Таблица 24

**Содержание полифенолов, радикал-связывающая (по ДФПГ)  
и хелатирующая активность экстрактов шнитт-лука, обогащенного селеном**

Номер образца	Полифенолы, мг/г сухого экстракта	Радикалсвязывающая активность, IC <sub>50</sub> , мг	Хелатирующая активность, EC <sub>50</sub> , мг
1	8.5 ± 0.2	5.42 ± 0.1	2.33 ± 0.21
2	9.3 ± 0.15	5.72 ± 0.06	2.05 ± 0.18
3	9.4 ± 0.06	5.21 ± 0.23	1.97 ± 0.21
4	5.3 ± 0.05	10.8 ± 0.46	4.61 ± 0.18
5	5.0 ± 0.12	11.38 ± 0.14	4.90 ± 0.30

Примечание. Номера образцов соответствуют приведенным в табл. 23; ±Δ – доверительный интервал абсолютной погрешности при p = 0.95.

Предобработка семян 0.001- и 0.005%-ным водным раствором  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  не влияла существенно на РСА экстрактов листьев *A. schoenoprasum* в тесте с ДФПГ (обр. 2, 3, табл. 24). В то же время искусственное обогащение экстрактов селенатом снижало РСА примерно в два раза (обр. 4, 5, табл. 24).

Тест на ХА показал, что предпосевная обработка селенатом натрия семян шнитт-лука не вызывала статистически достоверного изменения ХА экстрактов листьев по сравнению с контролем (обр. 2, 3, табл. 24). Искусственное обогащение селенатом экстрактов снижало их ХА в два раза (обр. 4, 5, табл. 24). Следует иметь в виду, что хелатирование ионов железа ингибирует реакцию Фентона, источник высокотоксичных гидроксильных радикалов, и поэтому тест на ХА также характеризует АОА экстрактов. В совокупности данные по трем тестам (ПФ, РСА и ХА) указывают на важную роль полифенолов в АОА исследуемых субстанций.

АОА экстрактов в микробной тест-системе оценивали по их способности поддерживать аэробный рост бактерий *E. coli* NM3021 в условиях окислительного стресса, вызванного добавлением в среду культивирования 2.5 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$ . В отсутствие экстрактов такая обработка снижала удельную скорость роста *E. coli* NM3021 в 6.3 раза. В то же время предобработка бактерий экстрактами за 20 мин до воздействия  $\text{H}_2\text{O}_2$  значительно повышала устойчивость *E. coli* к последующему воздействию оксиданта во всех вариантах (обр. 1-5, табл. 25). Наибольший антиоксидантный эффект проявил экстракт, не содержащий селената и полученный из растений, выращенных из семян, не обработанных селенатом, а также экстракт, полученный из растений, выращенных из семян, обработанных 0.001%-ным раствором селената (обр. 1 и 2, табл. 25). Наименьший эффект проявили экстракты, искусственно обогащенные селенатом (обр. 4-5, табл. 25).

Во всех случаях обработка бактерий экстрактами в отсутствие оксиданта вызывала заметное снижение скорости роста на 15-30% (табл. 25). Отмечена положительная корреляция между способностью экстрактов к ингибированию роста бактерий с одной стороны и ингибированию РСА и ХА с другой стороны ( $r^2 = 0.91$  и  $0.88$  соответственно,  $p < 0.05$ ). **Примечательно, что экстракты, искусственно обогащенные селенатом, оказывали наименьший ингибирующий эффект на рост бактерий и одновременно наименьший показатель антиоксидантного действия.** В целом, во всех случаях обработка селенатом не приводила к увеличению антиоксидантного действия экстрактов.

В отсутствие окислительного стресса добавление экстрактов к растущим бактериям статистически значимо повышало экспрессию слияния *katG::lacZ* (табл. 25). Как и следовало ожидать, обработка бактерий  $\text{H}_2\text{O}_2$  увеличивала экспрессию слияния примерно вдвое. При совместном действии экстрактов и  $\text{H}_2\text{O}_2$  происходило еще большее увеличение экспрессии *katG::lacZ* как по отношению к своему контролю, так и к культурам, не обработанным оксидан-

Таблица 25

**АОА экстрактов листьев селенобогатых растений шнитт-лука  
в тестах на культурах бактерий *Escherichia coli***

Номер образца	Удельная скорость роста ( $\mu$ ) бактерий, предобработанных экстрактами, ч <sup>-1</sup>		Экспрессия генных слияний <i>katG::lacZ</i> в культурах, предобработанных экстрактами	
	В отсутствие H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	В присутствии 2.5 мм H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	В отсутствие H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	В присутствии 2.5 мм H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Контроль	0.95 ± 0.012 (1.0)	0.15 ± 0.007 (1.0)	53 ± 0.9 (1.0)	102 ± 3.4 (1.0)
1	0.72 ± 0.018 (0.76)	0.86 ± 0.039 (5.73)	96 ± 2.1 (1.81)	171 ± 6.5 (1.68)
2	0.71 ± 0.016 (0.75)	0.81 ± 0.044 (5.4)	109 ± 3.7 (2.06)	195 ± 9.5 (1.91)
3	0.64 ± 0.025 (0.67)	0.68 ± 0.024 (4.53)	107 ± 3.2 (2.02)	181 ± 5.1 (1.77)
4	0.76 ± 0.017 (0.80)	0.65 ± 0.029 (4.33)	86 ± 2.2 (1.62)	161 ± 6.5 (1.58)
5	0.81 ± 0.02 (0.85)	0.64 ± 0.042 (4.27)	91 ± 2.5 (1.72)	176 ± 4.8 (1.72)

*Примечание.* В скобках – отношение удельной скорости роста и экспрессии *katG::lacZ* к своему контролю; номера образцов соответствуют приведенным в табл. 23.

том. В обоих случаях наименьший эффект оказывали экстракты, искусственно обогащенные селенатом. Положительное влияние на живые организмы селен оказывает в узком диапазоне низких концентраций. Выявлена положительная корреляция между экспрессией гена *katG* при обработке экстрактами в отсутствие H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и значением ХА ( $r^2 = 0.77$ ,  $P = 0.05$ ).

Полученные данные показывают, что обработка семян селенатом натрия привела к небольшому увеличению уровня полифенолов в экстрактах и экспрессии антиоксидантного гена *katG*, не влияла существенно на радикал-связывающую и хелатирующую активности экстрактов и не способствовала повышению их АОА в микробной тест-системе. Хотя растения, выращенные из семян, обработанных селенатом, содержали в два-три раза больше селена, чем растения из контрольной группы, достоверного увеличения концентрации селена в экстрактах не обнаружено. Это объясняет слабый эффект экстрактов растений, выращенных из семян, обработанных селенатом.

Селенат, искусственно введенный в экстракты, статистически достоверно снижал такие показатели, как концентрация полифенолов, РСА, ХА, а также в небольшой степени АОА в микробной тест-системе и не влиял на способность экстрактов стимулировать экспрессию *katG*. В целом, добавление селената в экстракты снижало их антиоксидантные свойства, что может быть связано и со значительным снижением содержания полифенолов. Следует отметить, что согласно результатам трех химических тестов, введение селената в экстракты приводило к снижению показателей примерно в два раза, тогда как в микробной тест-системе оба показателя (АОА и экспрессия гена *katG*) изменялись незначительно.

## 5.2 Исследование противоопухолевой активности субстанций из шнитт-лука

К настоящему времени получены экспериментальные и эпидемиологические доказательства того, что некоторые БАВ, входящие в состав лука, могут подавлять пролиферацию опухолевых клеток разного генеза, а также снижать риск развития неоплазий некоторых органов, например, толстой кишки и желудка, репродуктивных органов (Tache et al., 2007; Allium..., 2009; Dietary..., 2010; Antiproliferative..., 2011). Разработано несколько способов получения препаратов с противоопухолевым действием, содержащих эфирные масла чеснока и лука репчатого (Дейнеко, 1985), выявлен цитотоксический эффект некоторых компонентов стероидной природы, выделенных из шнитт-лука, на клеточных линиях опухолей толстой кишки человека НСТ-116 и НТ-29 (Structure..., 2013; Cytotoxic..., 2014). Обнаружена цитостатическая и антимикробная активность СГ, выделенных из подземных органов лука *A. ursinum* (Steroidal..., 2006).

Противоопухолевое действие экстрактов листьев шнитт-лука было подтверждено в экспериментах на мышах в НИИ канцерогенеза Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН (Изучение..., 2012; Компонентный..., 2014). Результаты испытаний показали, что водный (ВЭЛ) и водно-спиртовой (ВСЭЛ) экстракты листьев лука проявляют тенденцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха у мышей-самцов ВДФ на стадии ее интенсивного развития (табл. 26). Опухоль была наиболее чувствительна к введению ВЭЛ (группа 2) и ВСЭЛ (группа 4) в дозе 1.3 г/кг массы тела животных (м.т.ж.). У мышей этих групп отмечали умеренный ингибирующий эффект, определяемый по объему опухоли, который проявлялся только на 12-е сутки после перевивки карциномы Эрлиха и поддерживался в дальнейшем на всех сроках развития опухоли. Замедление роста опухоли было более устойчивым и продолжительным при пероральном введении мышам ВСЭЛ. Показатель торможения роста опухоли (ТРО) в этом случае составлял от 10.2 до 38.4%, но не был статистически достоверным. Ингибирующий эффект при введении мышам ВСЛ в дозе 1.3 г/кг м.т.ж. был менее продолжительным, на контрольные сроки от 12 до 22 суток роста карциномы Эрлиха он варьировал от 26.1 до 38.4% ( $p > 0.05$ ), на более поздних сроках роста карциномы Эрлиха ингибирующий эффект убывал. Что касается группы животных, которым вводили ВСЛ в дозе 1.0 г/кг м.т.ж., то с учетом показателей ТРО на всех контролируемых сроках и погрешности измерения объема опухоли было отмечено отсутствие потенцирующего эффекта ВСЛ в этой дозе на рост карциномы Эрлиха. Взвешивание опухолей у мышей на 35-е сутки после инокуляции опухолевых клеток выявило отсутствие (группа 2) или незначительное (3.3 и 8.6% соответственно в группах 3 и 4) снижение этого показателя в сравнении с контролем (табл. 26). Необходимо отметить, что в группах животных, кото-

Таблица 26

Влияние водных и водно-спиртовых экстрактов листьев шнитт-лука  
на рост подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха (КЭ) у мышей-самцов BDF

Группа, действующее вещество (доза, г/кг м.т.ж.)	Объем опухоли, мм <sup>3</sup> , M±SD, (изменение объема, %)										Масса опухоли, г, 35 суток n=8
	Сутки после перевивки опухоли										
	5	8	12	15	19	22	28	33			
1 КЭ (КЭ)	41.6±5.7 n=10	195.5±28.0 n=10	844.5±132.6 n=10	960.7±170.4 n=10	1189.6±260.9 n=10	1946.7±428.8 n=9	2624.3±331.4 n=8	4258.8±496.7 n=8	33		
2 КЭ+ВЭЛ (1,3)	43.4±6.7 n=10 (-4.3)	201.1±54.6 n=10 (+2.9)	577.7±146.5 n=10 (-31.6)	592.2±135.9 n=10 (-38.4)	878.9±201.8 n=10 (-26.1)	1283.3±319.3 n=10 (-34)	2230.8±370.6 n=10 (-15.0)	3869.6±492.1 n=10 (-9.1)			
3 КЭ+ВЭЛ (1,0)	38.6±4.3 n=10 (-7.2)	265.9±95.2 n=10 (+36.0)	964.4±149.6 n=10 (+14.2)	1161.1±196.0 n=10 (+20.9)	1284.9±276.1 n=10 (+8.0)	1683.6±367.7 n=10 (-13.5)	2284.6±307.8 n=10 (-13.0)	3470.2±342.8 n=10 (-18.5)			
4 КЭ+ВСЭЛ (1,3)	30.4±3.7 n=10 (-26.9)	282.2±58.2 n=10 (+44.4)	584.7±55.5 n=9 (-30.8)	592.2±143.3 n=9 (-38.4)	1068±151.8 n=9 (-10.2)	1332.9±219.4 n=9 (-31.5)	1892.2±242.6 n=9 (-27.9)	3203.8±477.3 n=9 (-24.8)			

Примечания. Результаты выражены как среднеарифметические значения; ± ошибка среднего; в скобках приведены значения в % потенцирования (+) или ингибирования (-) роста опухоли.

рым вводили ВЭЛ, не было зарегистрировано гибели мышей, а в группе мышей, которым вводили ВСЭЛ (группа 4), погибло одно животное, в то время как в контрольной группе (группа 1) погибли две мыши. Обращает на себя внимание тот факт, что у мышей, которым вводили водный или водно-спиртовой экстракт листьев лука, наблюдали заживляющий эффект при изъязвлении опухолей, вызванных развитием некротических процессов.

С учетом существующих требований, предъявляемых к веществам природного происхождения при оценке их противоопухолевой активности, показатель торможения роста опухоли под воздействием тестируемого вещества должен быть  $>50.0\%$  ( $p < 0.05$ ) (Трещалина и др., 2005). В нашем случае ВЭЛ или ВСЭЛ проявил более слабую ингибирующую активность по отношению к карциноме Эрлиха, которая не была подтверждена статистически. В то же время среднеарифметические значения объема опухолей на сроках от 12 до 33 суток роста карциномы Эрлиха у мышей, получавших максимальную дозу экстракта лука, были устойчиво ниже. Результаты проведенных исследований позволяли сделать вывод, что ВЭЛ и ВСЭЛ листьев лука проявляют тенденцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха у мышей-самцов BDF на стадии ее интенсивного развития.

Нами было высказано предположение, что обогащение экстрактов СГ может усилить и пролонгировать их защитное действие на растущие опухоли. С этой целью были проведены эксперименты с использованием суммы экстрактивных веществ, выделенных из околоплодников шнитт-лука, содержащих спиростаноловые и фуростаноловые гликозиды, изучена их способность повышать противоопухолевую резистентность организма к трансплантируемым опухолевым клеткам и оказывать противоопухолевое действие у мышей с растущими перевиваемыми опухолями (Компонентный..., 2014).

При выборе доз исследуемых препаратов руководствовались данными литературы по эффективным дозам, зарегистрированным на опухолевых клеточных линиях в системе *in vitro*. Так, из восьми спиростаноловых сапонинов, выделенных из лука-порая и протестированных на цитотоксическую активность, наиболее активными были три соединения в концентрации, варьирующей от 1.9 до 5.8 мкг/мл (Chemistry..., 1998). В исследованиях на клеточных линиях опухолей толстой кишки человека НСТ-116 и НТ-29 из 10 испытанных соединений, выделенных из лука черного (*A. nigrum* L.), четыре соединения спиростаноловой природы проявили активность при концентрациях 1.09-3.45 мкМ, два соединения – умеренную цитотоксичность (47.8-70.5 мкМ), остальные были не активны (Spirostone..., 2011). Следует также отметить, что соединения спиростаноловой структуры показывали умеренную активность при концентрации 50 мкМ в отношении *HeLa* клеток (Steroidal..., 1995). Это позволяет предположить наличие зависимости показателя эффективной концентрации, при которой регистрируется цитотоксическая активность вещества, от гистогенеза опухолевых клеток.

Исследуемая сумма СГ содержит спиростаноловые и фуростаноловые гликозиды, которые могут иметь разную цитотоксическую активность. При выборе доз руководствовались данными эффективных концентраций, приведенных в ранее опубликованных работах (Steroidal..., 1995, Chemistry..., 1998; Spirostone..., 2011), учитывали возможность метаболических трансформаций СГ, в том числе под воздействием пищеварительных ферментов при поступлении их **per os**, а также возможность неполной всасываемости соединений и недостаточной эффективности их доставки к солидной опухоли. Так, ранее была показана модификация углеводной части стероидных сапонинов (гидролиз гликозидов) при пероральном их поступлении (Chemistry..., 1998).

Результаты исследований на переносимость животными спиростаноловых и фуростаноловых гликозидов при пероральном их поступлении в дозах 10, 20, 60 и 80 мг/кг в течение восьми недель с частотой пять раз в неделю показали, что мыши находились в активной форме, не отказывались от корма, не имели видимых изменений шерстного покрова. При взвешивании животных не регистрировали потери массы тела. Не отмечали гибели животных в процессе воздействия веществ и спустя две недели после его окончания. Таким образом, вещества можно считать хорошо переносимыми.

На фоне насыщения организма спиростаноловыми гликозидами при регулярном их поступлении в дозах 15 мг/кг (группа 2) и 30 мг/кг (группа 4) не отмечено задержки формирования опухолевых узлов и достоверного снижения объемов опухолей у мышей этих групп на всех сроках наблюдения за ростом карциномы Эрлиха (табл. 27). Определение массы опухолей на 30-е сутки развития карциномы выявило незначительное (на 7.9%) снижение этого показателя у мышей группы 2 и на 2.3% у мышей группы 4 по сравнению с контрольной группой. При профилактическом режиме введения фуростаноловых гликозидов в дозе 30 мг/кг (группа 3) не было отмечено различий в сроках формирования и размерах опухолей у мышей этой группы в сравнении с контролем. При этом среднеарифметическое значение массы опухолей было на 4.9% ниже показателя контроля. Регулярное поступление спиростаноловых гликозидов в дозе 60 мг/кг (группа 5) в организм мышей с уже растущими опухолями (лечебный режим) вызвало потенцирование роста карциномы Эрлиха, которое достигло максимальных значений (+27.5%,  $p=0.02$ ) на 16-е сутки и было статистически достоверным. В дальнейшем потенцирующий эффект ослабевал и не был статистически значимым, в то же время незначительное стимулирование роста карциномы Эрлиха было подтверждено при определении массы опухолей, превышавшей значение контроля на 8.7%. Анализ показателей ТРО (определенных по массе) под влиянием разных доз спиростаноловых гликозидов указывает на имеющуюся отрицательную зависимость показателей от дозы вещества. Так как с увеличением дозы до максимальной (60 мг/кг) определялся стимулирующий эффект вещества, бы-

Таблица 27  
Динамика роста карциномы Эрлиха при пероральном введении экстрактов, содержащих стероидные гликозиды

Номер группы	Доза, мг/кг м.т.ж.	Объем опухоли, мм <sup>3</sup> на сутки роста КЭ						Масса опухоли, мг	
		6	9	13	16	20	23	27	30
1	Контроль	96±44	679±203	1187±249	1853±457	2785±691	4328±721	5465±1559	8008±1675
2	СпГ (15)	86±41	746±361	1184±343	1924±620	3088±1027	4282±1318	5408±1213	7376±1511 (-7.9%)
3	ФГ (30)	114±36	672±256	1195±273	1850±560	2871±630	3936±967	5550±1709	7614±1380 (-4.9%)
4	СпГ (30)	147±96	895±320	1263±235	1684±197	2898±523	4232±658	5025±1381 (-8.1)	7823±1674 (-2.3%)
5	СпГ (60)	156±97	881±253	1379±163	2363±361* (+27.5%) p=0.02	3236±341 p=0.08 (+16.2%)	4557±752 (+5.3%)	6018±1318 (+10.1%)	8707±1224 (+8.7%)
6	ФГ (60)	112±32	667±189	1112±203	1833±392	2409±524 (-13.5%)	3922±602 (-9.4%)	4857±702 (-11.1%)	7030±1071 (-12.2%)

Примечания. СпГ – спирантоловые гликозиды; ФГ – фураностаноловые гликозиды. В группах 2-4 – профилактический режим введения веществ; в группах 5, 6 – лечебный режим введения веществ. В группах 1-6 по 10 мышей. Результаты выражены как среднееарифметические значения ± стандартные отклонения (SD). В скобках приведены значения в % потенцирования (+) или ингибирования (-) роста опухоли.

ло бы целесообразно провести дополнительные исследования на той же модели, используя меньшие дозы спиростаноловых гликозидов.

При терапии фуростаноловыми гликозидами в дозе 60 мг/кг у мышей со сформированными опухолями к 20-м суткам наблюдения наметилась тенденция слабого ингибирования роста опухолей. Ингибирование поддерживалось до конца опыта и варьировало в интервале от 9.4 до 13.5%. Взвешивание опухолей на 30-е сутки роста карциномы Эрлиха подтвердило тормозящий эффект фуростаноловых гликозидов, при этом среднеарифметическое значение массы опухолей у мышей группы 6 было меньше на 12.2% по сравнению с контролем.

Количество эритроцитов в крови мышей, потреблявших в профилактическом режиме фуростаноловые гликозиды в дозе 30 мг/кг (группа 3), составляло  $(4.40 \pm 1.21) \times 10^6$ /мл крови, что на 19.7% меньше ( $p = 0.09$ ) по сравнению с контролем ( $5.48 \pm 0.71 \times 10^6$ /мл крови). Число эритроцитов в крови мышей, которым вводили спиростаноловые гликозиды в дозе 30 мг/кг (группа 4) уменьшалось незначительно и составило  $(5.06 \pm 0.47) \times 10^6$ /мл крови, (7.7%,  $p = 0.25$ ). Такая тенденция к снижению числа этих форменных элементов крови у животных, получавших СГ, может указывать на способность исследуемых веществ вызывать гематологические нарушения.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что введение в организм мышей СГ как спиростаноловой, так и фуростаноловой природы до перевивки карциномы Эрлиха и во время ее роста не влияет на резистентность организма к опухолевым клеткам, не сказывается на латентном периоде формирования опухолевых узлов и скорости роста опухоли. Тестирование гликозидов в лечебном режиме выявило тенденцию к стимулированию роста карциномы Эрлиха под действием спиростаноловых гликозидов. В то же время при терапии фуростаноловыми гликозидами отмечали слабое торможение роста опухолей, определяемое как по их объему, так и по массе.

Противоопухолевый потенциал исследовали еще на одной модели – эпидермоидной карциноме легких Льюиса (КЛЛ), являющейся неиммуногенной опухолью, метастазирующей в легкие. Результаты, приведенные в табл. 28, показали, что при регулярном поступлении **per os суспензии спиростаноловых гликозидов** в дозе 6 мг/кг (группа 2) на раннем сроке роста КЛЛ (7-е сутки) регистрировали достоверное торможение роста опухолей на 49.0% ( $p < 0.05$ ), но в дальнейшем ингибирующий эффект вещества не сохранялся. При подкожном введении очищенного от взвешенных частиц экстракта в дозе 6 мг/кг только на единственном контрольном сроке (11-е сутки после перевивки КЛЛ) определяли слабый ингибирующий эффект спиростаноловых гликозидов (18.4%,  $p < 0.05$ ). В то же время продолжительность жизни мышей этой группы составила  $27.9 \pm 4.7$  суток, что на 11.6% превышало аналогичный показатель контрольной группы. При профилактическом ре-

Таблица 28

## Динамика роста метастазирующей карциномы легких Льюиса (КЛЛ) у мышей, получавших экстракты, содержащие СГ

Номер группы	Вещество (доза, мг/кг, путь введения) <sup>а</sup>	Объем опухоли, мм <sup>3</sup> на сутки роста КЛЛ					Продолжительность жизни, сутки
		7	11	14	18	21	
1	Контроль	159±97	958±198	1429±292	3480±489 n=9	3535±265 n=7	25.0±4.9
2	СпГ (6 мг/кг, per os)	81±34* (49.0%)	809±141	1415±366	3234±631	3464±661 n=9	26.5±3.4
3	СпГ (6 мг/кг, п/к)	183±101	782±161* (18.4%)	1327±408	2979±811	3558±499 n=9	27.9±4.7
4	ФГ (12 мг/кг, п/к)	183±143	634±230** (33.8%)	1222±306	2242±654** (35.6%)	2995±373** n=9 (15.2%)	25.1±3.5

*Примечания.* СпГ – стероидные спироستانоловые гликозиды; ФГ – стероидные фураностаноловые гликозиды; в группах 2-4 – профилактический режим введения веществ; в группах по 10 мышей; результаты выражены как среднеарифметические значения ± стандартные отклонения (SD); \*  $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$  (сравнение с показателем контроля); в скобках приведены значения торможения роста опухоли, %; а – (доза, мг/кг массы тела животного; п/к – подкожное введение действующего вещества).

жиге введения фураностаноловых гликозидов в дозе 12 мг/кг (группа 4) на сроках 11, 18 и 21 сутки определяли умеренное торможение роста КЛЛ (15.2-35.6%,  $p < 0.01$ ). Однако это не повлияло на показатель выживаемости мышей при сравнении с контролем.

Следует отметить, что гибель первого животного (на 17-е сутки) была обнаружена в группе контроля. В группах мышей, получавших спироستانоловые гликозиды, гибель мышей регистрировалась на более поздних сроках. Так, на 25-е сутки после трансплантации опухолевых клеток в контрольной группе оставались три особи, в то время как в группе мышей, получавших спироستانоловые гликозиды per os и подкожно, соответственно по шесть и семь животных. Продолжительность жизни мышей, получавших подкожно и per os спироستانоловые гликозиды в дозе 6 мг/кг, увеличивалась до 26.5 и 27.9 суток соответственно, что может свидетельствовать о способности вещества повышать резистентность организма к растущей опухоли.

Фураностаноловые гликозиды, введенные подкожно в дозе 12 мг/кг, проявляли слабое ингибирующее действие на рост КЛЛ, но не влияли на продолжительность жизни животных.

Многочисленные результаты экспериментальных, эпидемиологических и клинических исследований показывают, что селен, являющийся незаменимым микроэлементом, проявляет противоопухолевую активность (Combs, Gray, 1998; Watson, 2008; Экспериментальное..., 2011; Brozmanová, 2011; Selenium..., 2014b). Полагают, что основной биологической ролью селена является его участие в синтезе и активности антиоксидантных ферментов: глутатионпероксидаз I-IV, селензависимой пероксидазы нейтрофилов, селенопротеинов P и W, 5'-йодотиронин дейодиназы, тиоредоксин-редуктазы (Гмошинский, Мазо, 1999; Selenium..., 2014a).

Эти ферменты участвуют в устранении индуцированных перекисями и гидроперекисями окислительных повреждений (предотвращая аутоокисление липидных мембран), регуляции внутриклеточной передачи сигнала, а также в обмене тироидных гормонов. В настоящее время выявлены новые свойства селена, объясняющие множество возможных механизмов его противоопухолевого действия. Показано, что этот микроэлемент участвует в метаболизме канцерогенов, репарации ДНК, индукции апоптоза в опухолевых клетках, влияет на ангиогенез, а также активность эффекторных клеток специфического и неспецифического противоопухолевого иммунитета (Mechanisms..., 1996; Хотимченко и др., 1997; Ip, 1998; Selenium..., 2014a). Полагают, что органический селен, особенно если он поступает в организм с растительными продуктами, имеет преимущество перед неорганическим: он хорошо всасывается, имеет малую токсичность, а его концентрация в тканях и жидкостях поддерживается на более высоком уровне (Ip, Lisk, 1994; Гмошинский, Мазо, 1999; Davis, 2002; Cancer..., 2006). Считают, что противоопухолевые эффекты селена проявляются преимущественно на ранней стадии развития канцерогенного процесса.

На культурах опухолевых клеток и моделях химического канцерогенеза было показано, что селенобогатый чеснок, лук, капуста брокколи вызывают значимый дозо-зависимый антипролиферативный эффект, и в некоторых случаях он был более выраженный, чем используемые в эквивалентных дозах неорганический и органический Se (Ip, 1992; Ip, Lisk, 1992, 1994; Davis et al., 2002; Cancer..., 2006).

Одной из целей нашего исследования являлось изучение способности водных суспензий из обогащенного селеном лука *A. schoenoprasum* повышать противоопухолевую резистентность организма к трансплантируемым опухолевым клеткам и оказывать противоопухолевое действие у мышей с растущими перевиваемыми опухолями. В качестве объекта исследования использовали растения *A. schoenoprasum*, выращенные из семян, прошедших намачивание в 0.001%-ном водном растворе селената натрия  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  (СЛSe1), а также растения, получившие дополнительное содержание селена при корневой подкормке селенатом натрия из расчета 1.5 мг селена на 1 кг почвы (СЛSe2). Для сравнения брали растения шнитт-лука, не получившие дополнительно селен (СЛ), содержание микроэлемента в котором составляло  $80 \pm 7$  мкг/кг сухого вещества. Содержание селена в образцах СЛSe1 и СЛSe2 составляло  $96 \pm 9$  и  $570 \pm 43$  мкг/кг сухого вещества соответственно.

Мышей распределили на четыре группы по 10 животных в каждой: группа 1 (контроль) – мыши с перевитой КЛЛ; мыши групп 2-4 в профилактическом режиме получали перорально пять раз в неделю на протяжении двух недель до перевивки КЛЛ и после нее в течение всего опыта по 0.5 мл перемешанной водной суспензии лука комнатной температуры из расчета 250 мг вещества на 1 кг м.т.ж.. Мыши групп 3 и 4, потреблявшие суспензию обо-

гащенного селеном лука, дополнительно при каждом пероральном введении получали с растением 0.024 мкг Se/кг м.т.ж. и 0.1225 мкг Se/кг м.т.ж. соответственно.

Анализ данных, приведенных в табл. 29, показал, что в условиях профилактического регулярного поступления в организм водной суспензии лука происходит слабая задержка роста солидной КЛЛ на ранних сроках развития опухоли (в течение двух недель). Показатель ТРО на этот срок составил 24.1-26.4% и был статистически достоверным ( $p < 0.05$ ). При потреблении мышами суспензии лука, выращенного в условиях корневой подкормки селенатом натрия (группа 4), определяли снижение объемов опухолей у мышей на 18.0-31.2%, причем различие с контрольной группой на 11- и 18-е сутки роста КЛ было статистически значимое ( $p < 0.01$ ). Однако на поздних сроках роста опухолей ингибирующее влияние лука, обогащенного селеном, не проявлялось. Масса опухолей, выделенных на 25-е сутки роста КЛЛ у мышей, потреблявших суспензию лука, в том числе полученную из обогащенного селеном растения, статистически не отличалась от показателя контроля. Следует отметить, что в группах животных, которым вводили суспензии лука, не регистрировали их гибели, в то время как в контрольной группе погибло одно животное. Полученные результаты показали, что ингибирующий эффект (определяемый как по изменению объемов опухоли, так и по снижению массы опухолей) селенобогатых форм лука по сравнению с луком, выращенным традиционно, отсутствовал.

Результаты проведенного исследования выявили способность экстрактов лука и его селенобогатой формы слабо усиливать

Таблица 29

**Влияние селенобогатого шнитт-лука *A. schoenoprasum* L. на рост перевиваемой карциномы легких Льюиса**

Группа, доза вещества	Средний объем опухоли, мм <sup>3</sup> (сутки после перевивки опухоли)					Масса опухоли, мг
	7	11	14	18	21	
1 Контроль	117±50 n=10	2871±658 n=10	3877± 948 n=9	6409±1735 n=9	8819±2471 n=9	7603±1159 n=8
2 СЛ 250 мг/кг м.т.ж.	123±51 n=10	2113±552* (-26.4%) <sup>a</sup> n=10	2942±479* (-24.1%) n=10	5304±812 (-17.2%) n=9	8580±1370 n=9	7250±1243 n=9
3 СЛSe1 250 мг/кг м.т.ж. (0.024 мкг Se/кг м.т.ж.)	85±15 n=9	2327±519 (-18.9%) n=9	3256±533 (-16%) n=9	5143±1249 (-19.8%) n=9	7375±1236 (-16.4%) n=9	7970±1021 n=9
4 СЛSe2 250 мг/кг м.т.ж. (0.1225 мкг Se/кг м.т.ж.)	93±53 n=10	2054±437** (-28.5%) n=9	3144±577 (-18.9%) n=9	4411±952** (-31.2%) n=9	7396±1821 (-16.1%) n=9	8242±890 n=9

*Примечание.* \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$  – достоверность различия по отношению к контролю по критерию Стьюдента; а – в скобках % ингибирования; СЛ – суспензия лука; СЛSe1 и СЛSe2 – суспензия лука, обогащенного Se; n – число животных.

резистентность организма мышей по отношению к перевиваемым опухолям карцинома Льюиса. Анализ литературных данных показывает, что прослеживается дозо-зависимый характер ингибирующего бластомогенез действия **селеносодержащих растений**, который проявлялся при скармливании животным корма, содержащего 1-3 мг Se/кг (Экспериментальное..., 2011). Тестируемые авторами селенобогатенные растительные продукты – брокколи, чеснок, лук, спирулина – содержали более высокие уровни этого незаменимого микроэлемента, достигающие 28 мг/кг сухого вещества (лук) или 1 г/кг (чеснок, спирулина) (Ip, Lisk, 1994; Ip, 1998; Davis et al., 2002; Экспериментальное..., 2011). В нашем случае при потреблении мышами суспензии лука, содержащего селен в максимальной концентрации (570 мкг/кг), поступление микроэлемента в организм мышей было существенно меньше количеств, при которых исследователи отмечали устойчивый и продолжительный противоопухолевый эффект. Можно ожидать, что при более высоких уровнях содержания селена в луке профилактическое действие растения будет более выраженным. Однако содержание селена в растении должно строго контролироваться, так как его высокие концентрации в суспензии могут вызвать отрицательный эффект.

Известно, что доминирующей формой присутствия селена в растениях является аминокислота селенометионин. Антиканцерогенное действие селенометионина предположительно обусловлено его способностью к ферментативному расщеплению при помощи фермента метиониназы до метилселенола ( $\text{CH}_3\text{SeH}$ ), который является критическим метаболитом, модулирующим экспрессию ряда генов, способных вызывать задержку клеточного цикла в G1 фазе и инициировать апоптоз в опухолевых клетках (Zeng et al., 2009; Methylselenol..., 2012). Показано, что время полураспада поступившего в организм селенометионина, расходуемого на образование биологически активных соединений селена, составляет 252 дня, т.е. селенометионин многократно расходуется в организме (*<sup>75</sup>Se*)selenium..., 1991; Голубкина, Папазян, 2006). Следовательно, он может накапливаться, вызывая токсикозы и другие негативные проявления. Кроме того, при наличии в луке высоких концентраций различных БАВ могут проявляться синергические эффекты.

Следует добавить, что для более полного и всестороннего изучения противоопухолевого потенциала селенобогатенных форм лука целесообразно проведение исследований в длительных хронических экспериментах на моделях химического канцерогенеза, которые позволят выявить профилактическое действие на всех стадиях опухолевого процесса.

Таким образом, исследование противоопухолевого действия субстанций из шнитт-лука на различные виды опухолей (карцинома Эрлиха, метастазирующая эпидермоидная карцинома легких Льюиса) у мышей-самцов BDF на стадии ее интенсивного развития не показало ярко выраженного эффекта, однако выявило тен-

денцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха водными и водно-спиртовыми экстрактами листьев лука и заживляющий эффект этих экстрактов при изъязвлении опухолей, вызванных развитием некротических процессов.

Введение в организм мышей субстанций, содержащих СГ спиростаноловой и фуростаноловой природы, в лечебном режиме выявило тенденцию к стимулированию роста карциномы Эрлиха под действием спиростаноловых гликозидов и слабое торможение роста опухолей при терапии фуростаноловыми гликозидами.

Исследование противоопухолевого потенциала на эпидермоидной карциноме легких Льюиса показало достоверное торможение роста опухолей суспензией спиростаноловых гликозидов на раннем сроке роста КЛЛ и увеличение продолжительности жизни мышей, довольно значительно превышающий аналогичный показатель контрольной группы. Умеренное торможение роста КЛЛ наблюдалось и при профилактическом режиме введения субстанций, содержащих фуростаноловые гликозиды, не влияющие, однако, на показатель выживаемости мышей при сравнении с контролем.

Слабое ингибирующее действие на рост солидной КЛЛ на ранних сроках развития опухоли и незначительное усиление резистентности организма мышей по отношению к перевиваемым опухолям КЛЛ наблюдалось при введении субстанций на основе селенобогатенного шнитт-лука. Такой слабо выраженный эффект, скорее всего, связан с низким содержанием органических форм селена в растении.

Однако эти тенденции обнадеживают и требуют дальнейшего, более полного и всестороннего изучения противоопухолевого потенциала субстанций на основе шнитт-лука в длительных хронических экспериментах на моделях химического канцерогенеза, которые, возможно, позволят выявить профилактическое действие на всех стадиях опухолевого процесса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребление овощей и фруктов жителями России несоизмеримо ниже, чем в лидирующих по продолжительности жизни странах мира. По данным ООН, лук относится к самым распространенным пищевым растениям, его выращивают не менее чем в 175 странах. Средняя норма потребления на одного человека в год этого важного компонента здорового питания в различных странах и регионах мира значительно колеблется. В северных районах она достигает 6 кг, в странах Средней Азии и в Закавказье составляет 14-17 кг. Мировыми лидерами в выращивании и потреблении лука являются Китай и Индия. На эти страны приходится около 45% годового урожая лука в мире, который составляет 70 млн т. Недостаточное употребление овощей в большой мере касается жителей северных регионов, где организм человека подвергается таким неблагоприятным факторам, как низкие температуры, неоптимальный световой режим и недостаток кислорода. На состояние организма накладывает отпечаток и своеобразие образа жизни и питания людей на Севере. Нарушение адаптивных реакций организма может приводить к сбою внутренних биоритмов человека, развитию хронического стресса, ускорению старения организма и прогрессированию болезней дисадаптации, к которым относят социально значимые неинфекционные заболевания, такие как сахарный диабет второго типа, гипертония, ишемическая болезнь сердца, метаболический синдром (ожирение), онкологические заболевания. Для коррекции адаптивных реакций организма в условиях Севера и при действии других неблагоприятных факторов природной и производственной среды чрезвычайно важно поступление в организм человека эссенциальных микронутриентов антиоксидантной и адаптогенной природы в составе не только свежих овощей, но и лекарственных препаратов, биологически активных добавок и специализированных продуктов питания.

Население Республики Коми с давних пор использует в пищу богатые витаминами и белками листья, луковицы и цветки шнитт-лука, который в северных районах является незаменимым источником витаминной зелени, так как содержит богатый набор полезных для человека эссенциальных микроэлементов, адаптогенов и других микронутриентов. Давно известны антицинготные свойства некоторых представителей этого рода. В последние годы было установлено, что луки являются аккумуляторами селена, дефицит которого испытывает большая часть населения России, особенно ее северных территорий.

Шнитт-лук встречается спорадически по всей территории Республики Коми, иногда образуя заросли и луковые луга. Сырьевые запасы его в некоторых районах удовлетворяют запросы местного населения. В 80-х гг. прошлого столетия началась целенаправленная интродукция представителей этого рода в Ботанический сад Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. За это время семенами по делектусу и посадочным материалом привлечено более 1280 образцов лука, относящихся к 120 видам, семи разновидностям и трем сортам.

Интерес к представителям рода *Allium* возрастает с каждым годом. Появляются новые работы европейских, азиатских, индийских исследователей, посвященные изучению содержания биологически активных веществ в луках, в том числе и в *A. schoenoprasum*, и их полезных для человека свойств. Однако, несмотря на давнюю историю использования луков в качестве пищевого и лекарственного средства, возрастающему интересу к этим растениям, обнаружению в них биологически активных соединений антиоксидантного и адаптивного действия, создание из них лекарственных препаратов до настоящего времени ограничено незначительным числом видов (*A. sativum* L., *A. cepa* L., *A. ursinum* L.).

В настоящей монографии представлены результаты многолетних исследований содержания важнейших групп биологически активных веществ и микронутриентов в культивируемых и природных растениях шнитт-лука, произрастающего на территории Республики Коми. Были выделены и идентифицированы биологически активные вещества различной природы – липиды, входящие в них полиненасыщенные жирные кислоты, стерины, витамины, протеиногенные аминокислоты, стероидные гликозиды. Исследована динамика их накопления в растениях по фазам развития, выявлена зависимость содержания биологически активных веществ от видовой и сортовой принадлежности, эколого-географических и эдафических условий произрастания. Установлено, что во всех частях лука в составе нейтральных липидов доминирующими являются полиненасыщенные линолевая и линоленовая кислоты – незаменимые компоненты для жизнедеятельности организма человека. Общее количество ненасыщенных кислот – олеиновой, линолевой и линоленовой – составляет 72-80% суммы основных кислот. Среди них преобладает линолевая кислота, содержание которой по разным данным колеблется от 30 до 62%.

Показана избирательная способность шнитт-лука к накоплению таких ценных эссенциальных микроэлементов – антиоксидантов, как медь, цинк и хром, а также его аккумулирующие свойства по отношению к селену, который относится к компонентам антиоксидантной и антиканцерогенной защиты организма. Разработаны методы экспериментального повышения содержания селена в растениях, установлены оптимальные концентрации селеновых удобрений, позволяющие повысить его концентрацию до значений, не превышающих ПДК. Рассмотрены возможности повышения селенового статуса растения с целью создания на его ос-

нове функциональных продуктов питания для профилактики селенодефицитных состояний и онкологических заболеваний. Приведены новые данные об антиоксидантных свойствах шнитт-лука, действию его экстрактов на живые бактерии в условиях окислительного стресса. Установлено, что наибольший антиоксидантный эффект проявили спиртовые экстракты луковиц *A. schoenoprasum*.

Показано, что водные и водно-спиртовые экстракты листьев шнитт-лука проявляют тенденцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха у мышей-самцов BDF<sub>1</sub> на стадии ее интенсивного развития. Обнаружено ингибирующее действие субстанции, содержащей сумму спиростаноловых гликозидов, на рост опухолей и продолжительность жизни мышей с перевиваемой метастазирующей карциномой легких Льюиса, что открывает перспективы для получения фармакологических композиций противоопухолевой направленности.

Высокое содержание необходимых человеку биологически активных ингредиентов, обнаруженная антиоксидантная и противоопухолевая активность экстрактов шнитт-лука позволяют рекомендовать его для разработки продуктов функционального питания для профилактики онкологических заболеваний.

В заключение следует отметить, что в данной монографии впервые приведен обзор мировой научной литературы, посвященной шнитт-луку, включающий 369 источников. Некоторые классы биологически активных соединений в шнитт-луке описаны и идентифицированы нами впервые.

Авторы благодарят старшего научного сотрудника отдела Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН, к.с.-х.н. Г.А. Волкову и главного научного сотрудника Всероссийского научно-исследовательского института селекции и семеноводства овощных культур (поселок ВНИИССОК, Московская область), д.б.н. Н.А. Голубкину за многолетнее сотрудничество и полезные консультации, сотрудников лаборатории «Экоаналит» Л.И. Адамову, Л.Р. Зубкову, А.Г. Естафьеву, Н.В. Бадулину за выполнение анализов на содержание протеиногенных аминокислот, макро- и микроэлементов, старшего научного сотрудника этой же лаборатории, д.х.н. И.В. Груздева за проведение газо-жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии, старшего научного сотрудника Отдела флоры и растительности Севера, к.б.н. Л.В. Тетерук и научного сотрудника этого отдела, к.б.н. В.А. Канева за предоставление дикорастущих образцов и геоботанических описаний их местообитаний, старшего научного сотрудника НИИ канцерогенеза Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН, к.б.н. В.П. Дерягину и старшего научного сотрудника, к.б.н. Н.И. Рыжову за определение противоопухолевой активности в тестах на мышах и интерпретацию результатов, зав. лабораторией физиологии и генетики микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, д.б.н., профессора О.Н. Октябрьского, м.н.с., к.б.н. К.В. Безматерных и

других сотрудников этой лаборатории за определение антиоксидантной активности и сотрудничество при обсуждении полученных результатов.

Авторы благодарны ведущему инженеру лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН И.В. Рапоте за большую помощь при подготовке рукописи, д.б.н., профессору В.А. Черемушкиной за ценные советы и рекомендации при написании работы. Большой вклад в этот труд внес бывший сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии к.б.н. Н.В. Матистов.

## ЛИТЕРАТУРА

А.с. № 542932, СССР, G 01 N 1/28. Способ приготовления проб липидов / К.М. Синяк, И.И. Даниленко, З.П. Васюренко и др.; Киевский НИИ эпидемиологии, микробиологии и паразитологии. № 2138675; заявл. 26.05.75; опубл. 15.01.77. Бюл. № 2.

Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др. М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.

Адаптация человека к экологическим и социальным условиям севера / Отв. ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар: УрО РАН, 2012. 443 с.

Адаптогенные свойства стероидных гликозидов фуранолигандного ряда в связи с их действием на паразитических нематод в растениях / С.В. Зиновьева, С.В. Васильева, Ж.В. Удалова, В.А. Пасешниченко // Докл. Акад. наук, 1995. Т. 342, № 1. С. 131-133.

Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.

Алкалоидоносные растения Киргизии / Н.В. Плеханова, Е.В. Никитина, Дж. Саргазаков, А.И. Ботбаев. Фрунзе: Илим, 1975. С. 57.

Алкалоиды *Allium* / К. Самиков, Р. Шакиров, Т.П. Анцупова, С.Ю. Юнусов // Химия природ. соедин., 1986. № 3. С. 383.

Алмаши Э., Эрдели Э., Шарой Л. Быстрое замораживание пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. 408 с.

Антиоксидантная активность и витаминная ценность зеленых культур защищенного грунта / Т.К. Головкин, Г.Н. Табаленкова, И.Г. Захожий и др. // Аграрный вестник Урала, 2010. № 9. С. 60-63.

Антиоксидантные свойства экстрактов лекарственных растений Западной Сибири / Г.В. Смирнова, Г.И. Высочина, Н.Г. Музыка и др. // Прикл. биохим. и микробиол., 2009. Т. 45, № 6. С. 705-709.

Анцупова Т.П., Положий А.В. О наличии алкалоида аллина у некоторых видов *Allium* L. Бурятской АССР // Раст. ресурсы, 1987. Т. XXIII, вып. 3. С. 436-439.

Анцупова Т.П., Самиков К. Алкалоиды *Allium odorum* L. // Химия прир. соедин., 1984. № 2. С. 257-258.

Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. С. 356.

Ахов Л.С., Головкин Э.А., Мусиенко Н.Н. Аллелопатически активные вещества из подземных частей *Allium nutans* L. // Физиология и биохимия культурных растений, 2000. Т. 32, № 3. С. 195-199.

Балашова И.А. Липиды. Структура, биосинтез, превращения и функции. М.: Наука, 1977. 183 с.

Бандюкова В.А., Аванесов Э.Т. О вероятности обнаружения некоторых агликонов в семействах высших растений // Раст. ресурсы, 1975. Т. 11, вып. 3. С. 334-342.

Бандюкова В.А., Шинкаренко Г.Л. Одержанья полифенольных сполук з луски цибулі городньої // Фарм. журн., 1967. № 2. С. 54-57.

Барабой В.А. Антиоксиданты и здоровье // Валеология: диагностика, средства и практика обеспечения здоровья. СПб.: Наука, 1993. Вып. 1. С. 107-115.

Барабой В.А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев: Наукова думка, 1976. 260 с.

Биологически активные компоненты чеснока и перспективы их использования в лечебно-профилактическом питании / Г.И. Слепко, Л.С. Лобарева, Л.Я. Михайленко, Л.Н. Шантюк // Вопросы питания, 1994. № 5. С. 28-32.

Биологически активные соединения овощей / Н.А. Голубкина, С.М. Сирота, В.Ф. Пивоваров и др. М.: ВНИИССОК, 2010. 200 с.

Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров. 2-е изд., исправл. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 864 с.

Биохимия растений. М.: Мир, 1968. 662 с.

Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2011. 368 с.

Боднарь И.С. Микроэлементный статус детского населения европейского Севера (на примере Республики Коми): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2013. 22 с.

Бойкова В.В., Корхов В.В., Пасешниченко В.А. Контрацептивная активность дельтонины из *Dioscorea deltoidea* Wall. // Раст. ресурсы, 1990. Т. 26, вып. 1. С. 85-88.

Болгова И.В., Шапошникова И.А., Фандо Р.А. Таблица Менделеева в живых организмах // Биология, 2008. № 10. С. 54-72.

Булох И.В. Влияние возраста многолетних луков на урожайность и биохимические показатели // Научные труды Западно-Сибирской овощекартофельной селекционной опытной станции НИИ овощного хозяйства. Барнаул, 1986. Вып. 5. С. 138-144.

Бурцева Т.И., Бурлуцкая О.И. Селен: эссенциальный микроэлемент (обзор) // Вестник ОГУ: приложение «Биоэлементология», 2006. № 2. С. 7-9.

Варфоломеев С.Д. Простагландины – новый тип биорегуляторов // Соросовский образов. журн., 1996. № 1. С. 40-47.

Васильева И.С., Пасешниченко В.А. Биологически активные изопреноиды растений: биосинтез и значение для биотехнологии. (Обзор) // Прикл. биохим. и микробиол., 1999. Т. 35, № 5. С. 521-535.

Васильева И.С., Пасешниченко В.А. Состав и биологическая активность стероидных гликозидов из суспензионной культуры клеток *Dioscorea deltoidea* Wall. // Прикл. биохим. и микробиол., 1995. Т. 31, № 2. С. 238-242.

Васильева И.С., Пасешниченко В.А. Стероидные гликозиды растений и культуры клеток диоскореи, их метаболизм и биологическая активность // Успехи биологической химии, 2000. Т. 40. С. 153-204.

Васьковский В.Е. Липиды // Соросовский образов. журн., 1997. № 3. С. 32-37.

Введенский А.И. Род *Allium* L. – Лук // Флора СССР. М.-Л., 1935. Т. 4. С. 112-280.

Веретенников А.В. Физиология растений. 2-е изд., перераб. Воронеж, 2002. 272 с.

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Наука, 2005. 436 с.

Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 7-20.

Витаминный состав дикорастущих видов лука / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, Н.А. Бекетова и др. // Вопросы питания, 2002. № 5. С. 3-6.

Вихрева В.А. Эколого-агрохимические аспекты применения селена под зерновые культуры и козлятник на черноземах лесостепи среднего Поволжья: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владимир, 2011. 53 с.

Вихрева В.А., Лебедева Т.Б., Клейменова Т.В. Влияние селена на активность компонентов антиоксидантной системы растений / Агрономия: Нива Поволжья, 2009. № 1. С. 1-3.

Влияние рельефа на распределение селена в почвах Молдовы / И.П. Капитальчук, М.В. Капитальчук, С.С. Шешницан, Н.А. Голубкина // Вест. Московского государственного областного университета. Сер. Естественные науки, 2015. № 3. С. 44-53.

Волкова Г.А. Биоморфологические особенности видов рода *Allium* L. при интродукции на европейский Северо-Восток. Сыктывкар, 2007. 200 с.

Волкова Г.А., Моторина Н.А. Перспективные красивоцветущие растения для декоративного садоводства Республики Коми. Сыктывкар, 2010. 164 с.

Вронский В.А. Прикладная экология. Ростов-на-Дону: Феникс, 1996. 512 с.

Высочина Г.И. Биохимические подходы в познанию биоразнообразия растительного мира // Сибирский экологический журн., 1999. № 3. С. 207-211.

Высочина Г.И., Днепровский Ю.М. Содержание и динамика накопления флавоноловых гликозидов в листьях корневищных луков // Рациональное использование растительных ресурсов Казахстана. Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1985. С. 283-284.

Генри Т.А. Химия растительных алкалоидов. М.: Госхимиздат, 1966. С. 339-355.

Георгиевский В.П., Комиссаренко Н.Ф., Дмитрук С.Е. Биологически активные вещества лекарственных растений. Новосибирск: Наука, 1990. 333 с.

Гичев Ю.П. Введение в микронутриентологию // Введение в общую микронутриентологию (биологически активные пищевые добавки) / Под ред. Ю.П. Гичева и Э. Огановой. Новосибирск, 1998. 216 с.

Гичев Ю.Ю., Гичев Ю.П. Новое руководство по микронутриентологии. М.: Триада-Х, 2009. 303 с.

Гичев Ю.Ю., Гичев Ю.П. Руководство по биологически активным пищевым добавкам. М.: Triado X, 2001. 230 с.

Гичев Ю.Ю., Гичев Ю.П. Руководство по микронутриентологии. Роль и значение биологически активных добавок к пище. М.: Триада-Х, 2006. 264 с.

Гликозиды *Tribulus terrestris* / П.К. Кинтя, Э.Д. Перепелица, В.Я. Чирва и др. // Хим. природ. соедин., 1972. № 4. С. 475-477.

Гмошинский И.В., Мазо В.К. Селен в питании: краткий обзор // *Medicina Altera*, 1999. № 4. С. 18-22.

Гогин А.Е. Взаимосвязь хрома с минеральными веществами и жирорастворимыми витаминами в организме мясных цыплят: Автореф. дис ... канд. биол. наук. Сергиев Посад, 2001. 22 с.

Головацкая И.Ф., Шипицына Н.В. Влияние селенита натрия на морфо-физиологические параметры донника лекарственного // *Фундаментальные науки и практика* / Под ред. Н.Н. Ильинских. Томск, 2010. Т. 1. № 2. С. 89-91.

Голубев В.Ф., Голубкина Н.А., Горбунов Ю.Н. Минеральный состав диких луков и их пищевая ценность // *Прикл. биохим. и микробиология*, 2003. Т. 39, № 5. С. 602-606.

Голубкина Н.А. Флуориметрический метод определения селена // *Журнал аналитической химии*, 1995. Т. 50, № 5. С. 492-497.

Голубкина Н.А., Агафонов А.Ф., Дудченко А.Ф. Содержание микроэлементов в многолетнем луке // *Гавриш*, 2009. № 5. С. 18-21.

Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 255 с.

Государственная политика здорового питания населения: задачи и пути реализации / Под ред. акад. РАМН, проф. В.А. Тутельяна, акад. РАМН, проф. Г.Г. Онищенко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 288 с.

Государственная фармакопея СССР. М.: Медицина, 1990. 704 с.

Гринберг Е.Г. Многолетние луки. Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1985. 88 с.

Гродзинский А.М. Фитонциды в эргономике. Киев: Наукова думка, 1986. 188 с.

Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений: В 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 2. 312 с.

Дейнеко Г.И. Липиды, жирные кислоты и углеводы видов *Allium L.* // *Раст. ресурсы*, 1985. Т. 21, вып. 2. С. 221-229.

Действие сладкого перца, обогащенного селеном, на перевивную карциному Эрлиха у мышей / Н. Бондарева, Н.И. Рыжова, Н.А. Голубкина и др. // *Вопросы питания*, 2010. № 5. С. 40-45.

Делова Г.В. Содержание углеводов и азотистых веществ в некоторых дикорастущих видах лука // *Изв. СО АН СССР*, 1959. Т. 7. С. 122-125.

Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.

Долгодворова А.П., Воронина Л.П. Влияние селеновых удобрений на рост и развитие ярового ячменя // *Питание растений*, 2012. № 3. С. 15-19.

Егорушкин А.С. Про витамины. М.: Высшая школа, 1998. 117 с.

Жизнь растений: В 6-ти томах / Гл. ред. А.Л. Тахтаджян. Т. 6. Цветковые растения. М.: Просвещение, 1982. 543 с.

Жирнокислотный состав нейтральных липидов *Allium angulosum* (Alliaceae) / Т.И. Ширшова, Г.А. Волкова, В.А. Канев и др. // Раст. ресурсы, 2010. Т. 46, вып. 3. С. 68-73.

Защитное действие фураностаноловых гликозидов на растения, зараженные галловой нематодой *Meloidogyne incognita* / И.С. Васильева, С.В. Зиновьева, В.А. Пасешниченко, Ж.В. Удалова // Прикл. биохим. и микробиол., 1998. Т. 34, № 5. С. 560-563.

Зелепуха С.И. Антимикробные свойства растений, употребляемых в пищу. Киев: Наукова думка, 1973. 190 с.

Избирательное накопление элементов растениями, синтезирующими сапонины / М.Я. Ловкова, С.М. Соколова, Г.Н. Бузук и др. // Прикл. биохимия и микробиол., 1997. Т. 33, № 6. С. 635-642.

Изучение фунгитоксических свойств стероидных сапонинов из корневищ диоскореи дельтовидной / Н.И. Васюкова, В.А. Пасешниченко, М.А. Давыдова и др. // Прикл. биохим. и микробиол., 1977. Т. 13, № 2. С. 172-176.

Изучение химического состава листьев *A. schoenoprasum* L. и ингибирующего действия их экстрактов на опухолевый рост у мышей / Т.И. Ширшова, И.В. Бешлей, В.П. Дерягина и др. // Хим.-фарм. журн., 2012. Т. 46, № 11. С. 30-33.

Иллювиев В.П., Иванова М.Н. Содержание витамина С в овощах и ягодах в зависимости от сорта и условий культуры. М., 1934. С. 24-27.

Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрехимия, 1995. № 10. С. 109-113.

Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 230 с.

Исследование стероидных генинов и гликозидов в качестве противовоспалительных средств / В.Н. Сыров, С.Д. Кравец, З.А. Хушбактова и др. // Хим.-фарм. журн., 1992. Т. 26, № 5. С. 71-75.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Казакова А.А. Лук // Культурная флора СССР. Л.: Колос, 1978. Т. 10. 264 с.

Казакова А.А., Луковникова Г.А. Влияние условий выращивания на химический состав и хозяйственные признаки некоторых видов лука // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции, 1959. Т. 32, вып. 3. С. 116-132.

Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных. Л.: Агропромиздат, 1985. 207 с.

Камелин Р.В. Флорогенетический анализ естественной флоры горной Средней Азии. Л.: Наука, 1973. 355 с.

Капитальчук М., Тома С., Капитальчук И. Содержание селена в некоторых типах почв левобережных районов Днестра // Ştiinţa Agricolă, 2006. № 1. Р. 11-16.

Капитальчук М.В., Голубкина Н.А. Биоаккумуляция селена растениями на различных типах почв Молдовы // АГРО XXI, 2008. № 4-6. С. 81-83.

Карабанов И.А. Витамины и фитогормоны в жизни растений. Минск, 1977. 110 с.

Кейтс М. Техника липидологии. М.: Мир, 1975. 324 с.

Кинтя П.К., Лазурьевский Г.В. Стероидные гликозиды ряда спиростана. Кишинев: Штиинца, 1979. 149 с.

Книга по микронутриентологии / Под ред. проф. В.А. Тутельяна. М., 1997. 40 с.

Княжев В.А., Суханов В.П., Тутельян В.А. Правильное питание. Биодобавки, которые вам необходимы. М., 1998. 208 с.

Ковганко Н.В., Ахрем А.А. Стероиды: экологические функции. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 223 с.

Кокорева В.А., Титова И.В. Лук, чеснок и декоративные луки. М., 2007. 208 с.

Колотилова А.И., Глушанков Е.П. Витамины (Химия, биология, физиологическая роль). Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. 248 с.

Компонентный состав стероидных гликозидов, выделенных из соплодий *Allium schoenoprasum* L., и оценка их влияния на рост перевиваемых опухолей у мышей / Т.И. Ширшова, И.В. Бешлей, В.П. Дерягина, Н.И. Рыжова // Хим.-фарм. журн., 2014. Т. 48, № 5. С. 28-31.

Контрацептивная активность некоторых стероидных гликозидов / П.К. Кинтя, М.Н. Мац, С.А. Швец и др. // Раст. ресурсы, 1988. Т. 24, вып. 2. С. 263-269.

Корневищные луки северной Азии / В.А. Черемушкина, Ю.М. Днепровский, В.П. Гранкина и др. Новосибирск: ВО Наука, 1992. 159 с.

Короткая Е.В., Короткий И.А. Влияние замораживания на физико-химические показатели ягод черной смородины // Хранение и переработка сельхозсырья, 2006. № 3. С. 15-17.

Кортев А.И., Донцов Г.И., Ляшева А.П. Биоэлементы и патология человека. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1972. 302 с.

Корякина В.Ф. Влияние внешних условий на накопление аскорбиновой кислоты в овощных растениях // Сборник научных работ Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР. Л., 1945. С. 133-144.

Красная книга города Москвы / Отв. ред. Б.Л. Самойлов, Г.В. Морозова. М., 2001. 624 с.

Красная книга природы Ленинградской области. В 3-х томах. Т. 2. Растения и грибы. СПб., 2000. 518 с.

Красная книга природы Санкт-Петербурга / Под ред. Г.А. Носкова. СПб., 2004. 416 с.

Красная книга Республики Беларусь: Растения. Минск, 2005. 456 с.

Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск, 2009. 368 с.

Красная книга Республики Коми / Под общ. ред. С.В. Дёгтевой. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

Красная книга Томской области. Томск: Изд-во Томского университета, 2002. 402 с.

Красная книга Удмуртской Республики. Сосудистые растения, лишайники, грибы / Под ред. В.В. Туганаева. Ижевск, 2001. 290 с.

Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа: животные, растения, грибы / Ред.-сост. А.М. Васин. Екатеринбург, 2003. 376 с.

Кретович В.Л. Биохимия растений. М.: Высш. шк., 1986. 503 с.

Крохмалюк В.В., Кинтя П.К., Чирва В.Я. Предварительная характеристика стероидных гликозидов *Allium* // Изв. АН МССР, 1974. № 3. С. 92.

Кудряшова Г.Л. Кариосистематические заметки о кавказских видах рода *Allium* (Alliaceae) // Ботан. журн., 1990. Т. 75, № 6. С. 829-832.

Кудряшова Г.Л. Конспект видов рода *Allium* (Alliaceae) Кавказа // Ботан. журн., 1992. Т. 77. С. 86-88.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

Левон В.Ф., Булах П.Е, Марценюк И.М. Фенольные соединения видов рода *Allium* флоры северного Причерноморья // Интродукция растений, 2009. № 3. С. 74-79.

Лекарственные растения (Растения-целители) / А.Ф. Гаммерман, Г.Н. Кадаев, М.Д. Шупинская и др. М., 1975. 400 с.

Лесков А.И., Мартынова Р.Г., Соколов С.Я. Полиспонин – новый лечебный препарат антисклеротического действия // Хим.-фарм. журн., 1976. № 1. С. 147-150.

Лисевницкая Л.И., Бандюкова В.А., Шинкаренко А.Л. Влияние препарата из лука репчатого (*Allium cepa* L.) на содержание холестерина при экспериментальной гиперхолестеринемии у белых крыс // Биол. науки, 1966. № 2. С. 78.

Лобарева Л.С., Денисов Л.Н., Якушева О.Е. Витамины антиоксидантного действия и ревматические заболевания // Вопр. питания, 1995. № 4. С. 24-29.

Лужен Г. Дефицит селена: причины и следствия // Дефицит микронутриентов у детей грудного и раннего возраста: Матер. IV междунар. симп., 1995. С. 93-105.

Лункер М. Вторичный метаболизм у микроорганизмов, растений и животных. М.: Мир, 1979. 548 с.

Лютумски Е. Аллиофил – антибиотик из чеснока // Новости фармации и медицины, 1980. № 4. С. 193-202.

Мазо В.К., Гмошинский И.В., Ширина Л.И. Новые пищевые источники эссенциальных микроэлементов-антиоксидантов. М.: Миклош, 2009. 207 с.

Марри Р., Греннер Д., Родуэлл В. Биохимия человека: в 2-х т. М.: Мир, 1993. Т. 1. С. 238-246.

Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Медицина, 1984. Т. 2. 576 с.

Методика выполнения измерений массовой доли углерода и азота в твердых объектах методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O). МКХА № 88-17641-94-

2009. Свидетельство Центра «Сертимет», Президиум УрО РАН, Екатеринбург, 2009.

Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Издание 2005 г.

Методические указания по изучению противоопухолевой активности фармакологических веществ / Е.М. Трещалина, О.С. Жукова, Г.К. Герасимова и др. // Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Под общ. ред. член-корр. РАМН, проф. Р.У. Хабриева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 2005. С. 637-651.

Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М., 1990. – (Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, РД 52.18.191-89).

Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш и др. М.: Медицина, 1991. 496 с.

Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск, 1978. 252 с.

Морфологические и биохимические особенности обогащенного селеном растения *Allium schoenoprasum* L. и оценка его способности оказывать противоопухолевое действие у мышей с перевиваемыми опухолями / Т.И. Ширшова, И.В. Бешлей, Н.В. Матистов и др. // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2017. № 2. С. 45-55.

Москалев А.А. Генетика и эпигенетика старения и долголетия // Экологическая генетика, 2013. Т. 11, № 1. С. 3-11.

Мукаилов М.Д., Гусейнова Б.М. Низкотемпературное замораживание – фактор, обеспечивающий сохранность жизненно важных компонентов плодов и ягод // Хранение и переработка сельхозсырья, 2004. № 7. С. 40-42.

Муравьева Д.А. Фармакогнозия (с основами биохимии лекарственных растений). М.: Медицина, 1978. 656 с.

Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия. М.: Медицина, 2002. 656 с.

Нефедова А.В., Киселева Т.Л. Лук и чеснок в фитотерапии и гомеопатии. Публикация 2. Химический состав производящих растений и сырья // Традиционная медицина, 2004. № 1(2). С. 33-41.

Николаева М.Г., Лязгунова И.В., Поздова Л.М. Биология семян. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1999. 233 с.

Нимажалова Т.Б., Абашеева Н.Е. Влияние селена на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур // Растениеводство, селекция и семеноводство, 2009. № 1(14). С. 67-71.

Ноздрюхина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М.: Наука, 1980. 279 с.

Носов А.М. Функции вторичных метаболитов растений *in vivo* и *in vitro* // Физиология растений, 1994. Т. 41, № 6. С. 873-878.

Нухимовский Е.Л. Основы биоморфологии семенных растений. Теория организации биоморф. М.: Изд-во «Недра», 1997. Т. 1. 630 с.

Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян // Физиология растений, 1997. Т. 44. С. 287-302.  
Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987. 815 с.

Орехов А.П. Химия алкалоидов растений СССР. М.: Наука, 1965. 392 с.

Орехов А.П. Химия алкалоидов. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 859 с.

Основы биохимии вторичного обмена растений: учебно-методическое пособие / Г.Г. Борисова, А.А. Ермошин, М.Г. Малева, Н.В. Чукина. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. 128 с.

Основы здорового питания: пособие по общей нутрициологии / А.В. Скальный, И.А. Рудаков, С.В. Нотова и др. Оренбург, 2005. 117 с.

Оценка антиоксидантной активности экстрактов *Allium schoenoprasum* L. и *Rubus chamaemorus* L., произрастающих в Республике Коми / К.В. Безматерных, Т.И. Ширшова, И.В. Бешлей, и др. // Хим.-фарм. журн., 2014. Т. 48, № 2. С. 36-40.

Паршукова О.И. Влияние климато-географических факторов на содержание селена в сыворотке крови жителей европейского Севера // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 51-53.

Пасешниченко В.А. Растения – продуценты биологически активных веществ // Соросовский образовательный журн., 2001. Т. 7, № 8. С. 13-19.

Пасешниченко В.А., Васильева И.С. Стероидные гликозиды растений и культуры клеток диоскореи (Обзор) // Прикл. биохим. и микробиол., 1995. Т. 31, № 1. С. 73-79.

Пасешниченко В.А., Гусева А.Р. Выделение и свойства сапонинов из корневищ *Dioscorea deltoidea* Wall. // Прикл. биохим. и микробиол., 1975. Т. 11, вып. 1. С. 94-101.

Патент № 2140432, Российская федерация, МПК С09К 15/34. Антиоксидант / В.К. Гинс, П.Ф. Кононков, В.Ф. Пивоваров, М.С. Гинс, Ф.П. Кононков; ВНИИССОК. № 98107872/13; заявл. 22.04.1998; опубл. 27.10.1999.

Покровский А.А. Метаболические аспекты фармакологии и токсикологии пищи. М.: Медицина, 1979. 184 с.

Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высш. школа, 1989. 464 с.

Полетико О.М., Мишенкова А.П. Декоративные растения открытого грунта. Справочник по номенклатуре родов и видов. Л.: Наука, 1967. 208 с.

Потопальский А.И., Петличная Л.И., Ивасивка С.В. Модификация алкалоида берберина. Киев: Наукова думка, 1982. 110 с.

Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям Севера / Отв. ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар-СПб.: Политехника-сервис, 2009. 264 с.

Пузанов А.В., Мальгин М.А. Селен в почвах Тувы // Сиб. экол. журнал, 2000. № 2. С. 233-241.

Растения-продуценты важнейших классов биологически активных веществ / В.В. Володин, Б.И. Груздев, В.А. Мартыненко, В.А. Канев. Сыктывкар, 2014. 206 с.

Ревенский В.А., Зонхоева Э.Л. Влияние комплексного селенцеолитового минерального удобрения пролонгирующего действия на урожай и качество зерна яровой пшеницы // *Агрохимия*, 2007. № 7. С. 41-48.

Решетник Л.А., Парфенова Е.О. Селен и здоровье человека // *Экология моря: Сб. науч. трудов. Севастополь*, 2000. Вып. 54. С. 20-25.

Розенцвет О.А., Козлов В.Г., Дембицкий В.М. Сравнительное изучение липидов четырех доминирующих видов растений и водорослей реки Шульган // *Биохимия*, 1999. Т. 64, вып. 64. С. 1527-1535.

Рэуце Н., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.

Рязанова О.А., Васильева С.Б. Влияние холодильного хранения на органолептические показатели качества плодов ирги // *Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов*, 2001. Вып. 2. С. 96.

Рязанова О.А., Резниченко И.Ю., Васильева С.Б. Изменение качества плодов ирги из Кемеровской области при хранении // *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2001. № 5. С. 48-49.

Селен в жизни человека и животных / Под ред. Л.П. Никитиной, Я.Н. Иванова. М., 1995. 242 с.

Селенодефицит и возможности его сокращения. Аккумуляционные свойства некоторых представителей рода *Allium* L. по отношению к селену / Т.И. Ширшова, Н.А. Голубкина, И.В. Бешлей, Н.В. Матистов // *Изв. Коми НЦ УрО РАН*, 2011. Т. 3(7). С. 48-54.

Селютина И.Ю. Биологически активные вещества видов рода *Allium* L. (Alliaceae) // *Сибирский ботанический вестник*, 2007. Т. 2, вып. 2. С. 79-86.

Семенов А.А. Очерк химии природных соединений. Новосибирск: Наука, 2000. 664 с.

Серегина И.И. Влияние селена на продуктивность и использование азота растениями яровой пшеницы // *Плодородие*, 2007. № 5. С. 15-16.

Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М., 2004. 272 с.

Скрыпник Л.Н. Эколого-биохимические аспекты протекторной функции селена в растениях при окислительном стрессе: Дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2009. 169 с.

Содержание селена в культурных и дикорастущих луках из флоры Республики Коми / Т.И. Ширшова, И.В. Бешлей, Н.В. Матистов, Н.А. Голубкина // *Раст. ресурсы*, 2011. Т. 47, вып. 1. С. 112-118а.

Спиридонова Н.С. Синтез витамина С в растениях // *Ученые записки Свердловского гос. пед. ин-та. География и естествознание. Свердловск*, 1955. Вып. 2. С. 124-136.

Сравнительное исследование эфирных масел лука и чеснока методами тонкослойной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии / Д.С. Байгаров, А.В. Нефедова, Т.Л. Киселева, Л.А. Устынюк // *Традиционная медицина*, 2008. Т. 13, № 2. С. 47-51.

Степанов Н.В. Новый вид лука (*Allium*–*Alliaceae*) из окрестностей г. Красноярска // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2015. № 2 (101). С. 128-131.

Степанова Е.Ф. Растительность и флора хребта Тарбагатай. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1962. 433 с.

Стероидные фураностановые гликозиды – новый класс природных адаптогенов / И.С. Васильева, Ж.В. Удалова, С.В. Зиновьева и др. // Прикл. биохим. и микробиол., 2009. Т. 45, № 5. С. 517-526.

Стероиды ряда спиростана и фураностана растений рода *Allium* / С.Д. Кравец, Ю.С. Воллернер, М.Б. Горовиц и др. // Хим. прир. соедин., 1990. № 4. С. 429-443.

Строение и биологическая активность основного стероидного гликозида листьев *Allium paniculatum* (*Alliaceae*) / Н.В. Толкачева, В.И. Гришконец, Г.П. Зайцев и др. // Раст. ресурсы, 2012. Т. 48, вып 1. С. 118-126.

Строение и биологическая активность стероидных гликозидов ряда спиростана и фураностана / П.К. Кинтя, Г.В. Лазурьевский, И.Т. Балашова и др. Кишинев: Штиинца, 1987. 144 с.

Строение основного стероидного гликозида соцветий *Allium cyrillii* (*Alliaceae*) / Н.В. Толкачева, Г.П. Зайцев, В.В. Качала и др. // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского, сер. Биология, химия, 2011. Т. 24, № 2. С. 390-395.

Толкачева Н.В., Шашков А.С., Чирва В.Я. Стероидные гликозиды луковок *Allium cyrillii* // Химия природ. соедин., 2012. № 2. С. 1-4.

Тутельян В.А. Попова Т.С. Новые стратегии в лечебном питании. М.: Медицина, 2002. 135 с.

Тутельян В.А. Сбалансированное питание – основа процветания нации / Доклад на VI Всероссийской конференции «Здоровое питание: воспитание, образование, реклама». М.: БАД-Бизнес, 2001.

Тутельян В.А. Эволюция и революции на пути формирования современной нутрициологии. Интегративная и цифровая нутрициология как ближайшее будущее // Вопросы питания (приложение), 2018. Т. 87, № 5. С. 21-22.

Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Суханов Б.П. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: справочное руководство по витаминам и минеральным веществам. М., 2002. 424 с.

Тутельян В.А., Суханов Б.П., Кудашева В.А. К истории науки о питании // Вопросы питания, 2003. № 3. С. 41-47.

Тухватуллина Л.А. Изучение хозяйственно ценных качеств дикорастущих луков в условиях культуры // Вестник ОГУ, 2010. № 6. С. 160-162.

Уварова О.В. Хозяйственно ценные виды флоры Западного Алтая // Вестник Алтайского госуд. аграрного ун-та., 2009. Т. 53, № 3. С. 30-32.

Углеводы *Allium* L. VII / Характеристика полисахаридов шелухи *Allium sepa* / М.А. Ходжаева, М. Хасанов, Е.С. Кондратенко и др. // Химия природ. соедин., 1985. № 1. С. 14-17.

Усубова Е.З., Жижяев А.М., Миронов П.В. Влияние селена на физиологические показатели и продуктивность фасоли сорта «Сакса» (*Phaseolus vulgaris* L.) // **Фундаментальные исследования**, 2012. Вып. 3. С. 257-260.

Федорова В.С. Влияние географических условий и внешней среды на накопление витамина С в культурных и дикорастущих растениях Сибири // **Журн. Зап.-Сиб. фил. АН СССР**, 1948. С. 17-21.

Филиппович Ю.Б. Основы биохимии. 4 изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Агар», 1999. 512 с.

Филиппова Г.Г., Смолич И.И. Основы биохимии растений: курс лекций. Минск: БГУ, 2004. 136 с.

Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю.С. Тараховский, Ю.А. Ким, Б.С. Абдрасилов, Е.Н. Музафаров / Под ред. Е.И. Маевского. Пушино: Synchronobook, 2013. 310 с.

Флора северо-востока европейской части СССР / Под ред. А.И. Толмачева. Т. 2. Семейства Сурбасеае–Саруофилласеае. Л.: Наука, 1976. 316 с.

Фризен Н.В. Луковые Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. 118 с.

Химия спиростанолов / А.В. Камерницкий, Н.К. Абубакиров, М.Б. Горовиц и др. М., 1986. 176 с.

Ходжаева М.А., Исмаилов З.Ф. Углеводы *Allium* L. 1 / Выделение и характеристика полисахаридов // **Химия прир. соедин.**, 1979. № 2. С. 137-142.

Ходжаева М.А., Кондратенко Е.С. Углеводы *Allium* L. 8 / Полисахариды *Allium coeruleum* // **Химия природ. соедин.**, 1983. № 1. С. 17-21.

Хотимченко С.А., Дерягина В.П., Жукова Г.Ф. Ингибирующее действие селена на эндогенный синтез N-нитрозосоединений у крыс // **Вопросы питания**, 1997. № 4. С. 16-18.

Ценопопуляции растений: Основные понятия и структура. М.: Наука, 1976. 215 с.

Ценопопуляции растений: Очерки популяционной биологии. М.: Наука, 1988. 184 с.

Ценопопуляции растений: Развитие и взаимоотношение. М.: Наука, 1977. 183 с.

Чекман И.С., Горчакова Н.А., Николай С.Л. Магний в медицине. Кишинев, 1992. 101 с.

Червяков Д.К., Евдокимова П.Д., Вишкер А.С. Лекарственные средства в ветеринарии. М.: Колос, 1977. 496 с.

Черемушкина В.А. Биология луков Евразии. Новосибирск: Наука, 2004. 280 с.

Черемушкина В.А. Корневищные виды рода *Allium* (Alliaceae) – сравнительно-морфологический анализ // **Бот. журн.**, 1993. № 1. С. 12-21.

Черемушкина В.А. Морфогенез и жизненные формы корневищных луков: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГПИ, 1985. 16 с.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья – 95, 1995. 991 с.

Черкасов О.А. Содержание диосгенина в разных органах *A. nutans* L. при интродукции в Московскую область / О.А. Черкасов, А.Ф. Азаркова, В.А. Стихин и др. // Раст. ресурсы, 1985. Т. 21, № 4. С. 455-458.

Четверикова Л.С., Киченко В.И., Уткин Л.М. Обследование растений флоры СССР на содержание сапонинов // Тр. ВИЛАР. М.: Медгиз, 1959. Вып. 11. С. 202-228.

Чухахина Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений. Калининград: Изд-во КГУ, 1977. 120 с.

Шабров А.В., Дадали В.А., Макаров В.Г. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи / Под ред. проф. В.А. Дадали. М.: Аввалон, 2003. 184 с.

Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Голубкина Н.А. Содержание селена в почвах некоторых районов Республики Коми // Изв. Коми НЦ УрО РАН, 2018. № 2. С. 43-48.

Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Груздев И.В. Липиды и высшие жирные кислоты в луке *A. schoenoprasum* L. (Alliaceae) // Раст. ресурсы, 2008. Т. 44, вып. 1. С. 75-81.

Ширшова Т.И., Волкова Г.А. Содержание стероидных гликозидов и нейтральных липидов у некоторых видов рода *Allium* (Alliaceae) // Раст. ресурсы, 2006. Т. 42, вып. 3. С. 59-66.

Ширшова Т.И., Волкова Г.А., Матистов Н.В. Липиды и высшие жирные кислоты в луке *Allium strictum* Schrad. (Alliaceae) // Раст. ресурсы, 2010. Т. 46, вып. 2. С. 105-109.

Шифрина Х.Б. Биохимические особенности многолетнего лука // Биохимия плодов и овощей, 1955. Сб. 3. С. 133-144.

Шифрина Х.Б. Биохимия лука // Биохимия овощных культур. Л.-М.: Сельхозгиз, 1961. С. 328-377.

Шмидт А.А. Аскорбиновая кислота, ее природа и значение в живом организме. Л., 1941. 136 с.

Щукин В.Б., Громов А.А., Щукина Н.В. Селен как экзогенный стимулирующий фактор в начальный период роста и развития растений озимой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2005. № 7-1. С. 107-110.

Экспериментальное изучение профилактических свойств обогащенных селеном растительных продуктов на модели перевиваемых опухолей у мышей / В.П. Дерягина, Н.И. Рыжова, Н.А. Голубкина и др. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, 2011. № 9. С. 49-55.

Эристави Л.И. Стероидные соединения представителей *Allium* L. и их хроматографическое изучение с целью хемосистематики рода // Хроматографические методы в фармации: Матер. симпозиума. Тбилиси: Мецниереба, 1977. С. 130-136.

Юнусов С.Ю. Алкалоиды. Ташкент, 2001. 413 с.

Юровицкий Ю.Г., Сидоров В.С. Эколого-биохимический мониторинг и эколого-биохимическое тестирование в районах экологического неблагополучия // Изв. РАН. Сер. биол., 1993. № 1. С. 74-81.

Юрьева Н.А., Кокорева В.А. Многообразие луков и их использование. М., 1992. 160 с.

Ягодин Б.А., Виноградова С.Б., Говорина В.В. Кадмий в системе почва-удобрения-растения-животные организмы и человек // *Агрохимия*, 1989. № 5. С. 118-131.

(<sup>75</sup>Se)selenium amino acids metabolism / C.A. Swanson, B.H. Patterson, O.A. Levander, C.Z. Vellon // *Biofactors*, 1991. V. 10. P. 257-262.

A comparative study of the effects of cholesterol, beta-sitosterol, beta-sitosterol glucoside, dehydroepiandrosterone sulphate and melatonin on in vitro lipid peroxidation / S.J. van Rensburg, W.M. Daniels, J.M. van Zyl, J.J. Taljaard // *Metab. Brain Dis.*, 2000, V. 15. P. 257-265.

A new alkaloid from the seeds of *Allium tuberosum* / S.M. Sang, S.L. Mao, A.N. Lao et al. // *Nat. Prod. Res. Develop.*, 2000. V. 12. P. 1-3.

Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // *Anal. Chim. Acta.*, 1984. V. 165. P. 187-194.

*Allium* Chemistry: Synthesis and Sigmatropic Rearrangements of Alk(en)yl 1-propenyl Bisulfide S-Oxides from Cut Onion and Garlic / E. Block, T. Bayer, S. Naganathan et al. // *J. Am. Chem. Soc.*, 1996. V. 118. P. 2799-2810.

*Allium* chemistry: synthesis, natural occurrence, biological activity, and chemistry of Se-alk(en)ylselenocysteines and their  $\gamma$ -glutamyl derivatives and oxidation products / E. Block, M. Birringer, W. Jiang et al. // *J. Agric. Food Chem.*, 2001. V. 49. P. 458-470.

*Allium schoenoprasum* L.: a review of phytochemistry, pharmacology and future directions / V. Singh, G. Chauhan, P. Krishan, R. Shri // *Natural Product Research*, 2018. V. 32, N. 18. P. 2202-2216.

*Allium* vegetables intake and endometrial cancer risk / C. Galeone, C. Pelucchi, L. Dal Maso et al. // *Public Health Nutr.*, 2009. V. 12, № 9. P. 1576-1579.

Alseber R.G. Biosynthesis and antioxidant function of glutathione in plants // *Physiol. Plant.*, 1989. V. 77. P. 457-464.

An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III // *Bot. J. Linn. Soc.*, 2009. V. 161. P. 105-121.

Anti-ischemia Steroidal Saponins from the Seeds of *Allium fistulosum* / W. Lai, Z. Wu, H. Lin et al. // *J. Nat. Prod.*, 2010. V. 73, № 6. P. 1053-1057.

Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya / L.-C. Wu, H.-W. Hsu, Y.-C. Chen et al. // *Food Chem.*, 2006. V. 95. P. 319-327.

Antioxidant properties of extracts from medicinal plants popularly used in Taiwan / L.-F. Shyur, J.-H. Tsung, J.-H. Chen et al. // *Inter. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 2005. V. 3. P. 195-202.

Antioxidative compounds from the outer scales of onion / T.N. Ly, C. Hazama, M. Shimoyamada et al. // *J. Agr. Food Chem.*, 2005. V. 53. P. 8183-8189.

Antiproliferative effect of natural tetrasulfides in human breast cancer cells is mediated through the inhibition of the cell division

cycle 25 phosphatases / E. Viry, A. Anwar, G. Kirsch et al. // Int. J. Oncol., 2011. V. 38, № 4. P. 1103-1111.

Arifin N.S., Miyajima I., Okubo H. Variation of pigments in the bulbs of shallot (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) and *Allium wakegi* // J. Fac. Agr. Kyushu Univ., 1999. V. 43, № 3-4. P. 303-308.

Arnon D.I., Stout P.R. Molybdenum as an essential element for higher plants // Plant Physiol., 1939. V. 14. P. 371-375.

Aro A., Alfthan G., Varo P. Effect of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland // Analyst., 1995. V. 120, № 3. P. 841-843.

Aspila P. The history of selenium supplemented fertilization in Finland // Proceedings "Twenty years of selenium fertilization-2005", 8-9 Sept., Helsinki, ed. M. Eurola. P. 8-13.

Assessment of antioxidant activity of plant extracts using microbial test systems / O. Oktyabrsky, G. Vysochina, N. Muzyka et al. // J. Appl. Microbiology, 2009. V. 106, № 4. P. 1175-1183.

Attrep K.A., Mariani J.M., Attrep M. Search for prostaglandin A<sub>1</sub> in onion // Lipids, 1973. V. 8, № 8. P. 484-486.

Augusti K.T. Hypochlorsterolaemic effect of garlic (*Allium sativum* L.) // Indian J. Exp. Biol., 1977. V. 15, № 15. P. 489-490.

Awad A.B., Fink C.S. Phytosterols as anticancer dietary components; evidence and mechanism of action // J. Nutr., 2000. V. 130. P. 2127-2130.

Bate-Smith E.C. The phenolic constituents of plants and their taxonomic significance II Monocotyledons // Bot. J. Linn. Soc., 1968. V. 60, № 383. P. 325-356.

Benkeblia N., Lanzotti V. Allium Thiosulfinates: Chemistry, Biological Properties and their Potential Utilization in Food Preservation // Food, 2007. № 1. P. 193-201.

Biologically active substances: investigations into the prostaglandin content of *Allium* species. 1 / K. Pobożny, P. Tetenye, I. Hethelye et al. // Herba Hung., 1979. V. 18. P. 71-81.

Boit H.G. Ergebnisse der Alkaloidchemie bis 1960: unter besonderer Berücksichtigung der Fortschritte seit 1950. Berlin: Acad. Verlag, 1961. S. 1082.

Bouc P.J. The role of phytosterols and phytosterolins in immune modulation: a review of the past 10 years // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care, 2001. V. 4. P. 471-475.

Brozmanová J. Selenium and Cancer: from Prevention to Treatment // Klin. Onkol., 2011. V. 24, № 3. P. 171-179.

Brufau G., Canela M.A., Rafecas M. Phytosterols: physiologic and metabolic aspects related to cholesterol-lowering properties // Nutr. Res., 2008. V. 28, № 4. P. 217-225.

Burk R.F., Hill K.E. Regulation of selenoproteins // Annu. Rev. Nutr., 1993. V. 13. P. 65-81.

Cadmium accumulation in *Allium schoenoprasum* L. grown in an aqueous medium / O. Barazani, N. Dudai, U.R. Khadka, A. Golan-Goldhirsh // Chemosphere, 2004. V. 57, № 9. P. 1213-1218.

Cancer chemoprevention by garlic and garlic-containing sulfur and selenium compounds / K. El-Bayomy, R. Sinha, J.T. Pinto, R.S. Rivlin // J. Nutr., 2006. V. 136, Iss. 3. P. 864-869.

Cancer-protective properties of high-selenium broccoli / J.W. Finley, C. Ip, D.J. Lisk et al. // *J. Agric. Food Chem.*, 2001. V. 49. P. 2679-2683.

Cassange C., Cezard J. Mise en evidence de hydrocarbures et de acides gras a tres long chaine dans les chloroplasts de *Allium porrum* // *Acad. Sci. D.*, 1972. V. 275, № 18. P. 2077-2080.

Chemical constituents of three *Allium* species from Romania / L. Vlase, M. Parvu, E.A. Parvu, A. Toiu // *Molecules*, 2012. V. 18. P. 114-127.

Chemistry of the genus *Allium*. Part 5 – saponinogens of *Allium porrum* L. / E. Fattorusso, V. Lanzotti, S. Magno, O. Tagliatalata-Scafati // *J. Agric. Food Chem.*, 1998. V. 46. P. 4904-4908.

Clinical trial of Tribestan / F. Koumanov, E. Bozadjieva, M. Andreeva et al. // *Exp. Med.*, 1982. V. 4. P. 211-215.

Combs G., Combs S. The role of selenium in nutrition. N.Y.: Acad. Press, 1986. P. 235-238.

Combs G.F., Gray W.P. Chemopreventive agents: selenium // *Pharmacol. Ther.*, 1998. V. 79. P. 179-192.

Comparative study on *Allium schoenoprasum* L. cultivated plant and *Allium schoenoprasum* tissue culture organs antioxidant status / D. Šteiner, B.M. Popović, D. Čalic-Dragosavać et al. // *Phytother. res.* 2011. V. 25. P. 1618-1622.

Comparison of antioxidant activities of onion and garlic extracts by inhibition of lipid peroxidation and radical scavenging activity / A.M. Nuutila, R. Puupponen-Pimiä, M. Aarni et al. // *Food Chem.*, 2003. V. 81. P. 485-493.

Cytotoxic steroidal glycosides from *Allium flavum* / A. Rezgui, A.-C. Mitaine-Offer, T. Paululat et al. // *Fitoterapia*, 2014. V. 93. P. 121-125.

Cytotoxic Steroidal Saponins from the Flowers of *Allium leucanthum* / L. Mskhiladze, J. Legault, S. Lavoie et al. // *Molecules*, 2008. V. 13. P. 2925-2934.

Davis C.M., Vincent J.B. Chromium oligopeptide activates insulin receptor tyrosine kinase activity // *Biochem.*, 1997. V. 36. P. 4382-4385.

Davis C.M., Zeng H., Finley J.W. Selenium-enriched broccoli decreases intestinal tumorigenesis in multiple intestinal neoplasia mice // *J. Nutr.*, 2002. V. 132. P. 307-309.

Dhillon S.K., Dhillon K.S. Pools of selenium in some Indian soils at field capacity and submerged moisture regimes // *Aust. J. Soil Res.*, 2004. Vol. 42. P. 247-257.

Dietary factors and gastric cancer risk: hospital-based case control study / K. Lazarevic, A. Nagorni, N. Rancic et al. // *J. Buon.*, 2010. V. 15, № 1. P. 89-93.

Dini I., Tenore G.C., Dini A. Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of *Allium caepa* L. var. *tropeana* (red onion) seeds // *Food Chemistry*, 2008. V. 107, № 2. P. 613-621.

Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin: a randomized controlled trial. Nutritional Prevention of Cancer Study Group / L.C. Clark, G.F. Combs, B.W. Turnbull et al. // *J. Am Med. Assoc.*, 1996. V. 276. P. 1957-1985.

Enhanced organically bound selenium yeast production by fed-batch fermentation / C. Ip, M. Birringer, E. Block et al. // J. Agric. Food Chem., 2000. V. 48, № 6. P. 2062-2070.

Essentials of Human Nutrition. Ed. J. Mann, S. Truswell. N.-Y.: Oxford University Press, 2012. 720 p.

Evaluation of antioxidant activity of Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) oil and identification of its antioxidant constituents / H.-J. Kim, F. Chen, X. Wang et al. // J. Agric. Food Chem., 2005. V. 53. P. 7691-7695.

Evaluation of antioxidant properties of medical plants using microbial test systems / G. Smirnova, G. Vysochina, N. Muzyka et al. // World J. Microbiol. and Biotechnol., 2010. V. 26, № 12. P. 2269-2276.

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.A. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem., 1957. V. 226. P. 497-509.

Functional foods and nutraceuticals in cancer prevention / Ed. R.R. Watson. Ames: Iowa State Press, 2008. 315 p.

Galal E.E., Gawad M.A. Antidiabetic activity of Egyptian onion "*Allium cepa*" extract // J. Egypt. Med. Assoc., 1965. V. 48, № 1. P. 14-45.

Gibbs R.W. Chemotaxonomy of flowering plants. Montreal, 1974. V. 1. 290 p.

Gladyshev V.N., Hatfield D.L. Selenocysteine-containing proteins in mammals // J. Biomed. Sci., 1999. V. 6. P. 141-160.

Golubkina N. Prospects of onion (*Allium cepa* L.) Fertilization by Selenium. Mini-Reviews // Микроэлементы в медицине, 2016. T. 17, №1. С. 4-9.

Gupta N.N., Mehrotra R.M.L., Sircar A.R. Effect of onion on serum cholesterol, blood coagulation factors and fibrinolytic activity in alimentary lipemia // Ind. J. Med. Res., 1966. V. 54, № 1. P. 48-53.

Hanelt P., Fritsch R. Notes on some infrageneric taxa in *Allium* L. // Kew Bulletin, 1994. V. 49, № 3. P. 559-564.

Holben D.H., Smith A.M. The Diverse Role of Selenium within Selenoproteins // J. Am. Diet. Assoc., 1999. V. 99, № 7. P. 836-843.

Iberl B., Winkler G., Knobloch K. Quantitative determination of allicin and alliin from garlic by HPLC // Planta Med., 1990. V. 56, No. 3. P. 320-326.

Influence of polyphenols on *Escherichia coli* resistance to oxidative stress / G.V. Smirnova, Z.Y. Samoylova, N.G. Muzyka, O.N. Oktyabrsky // Free Radical Biology and Medicine, 2009. V. 46, No. 6. P. 759-768.

Infrageneric grouping of *Allium* – the Gatersleben approach / P. Hanelt, J. Schultze-Motel, R. Fritsch et al. // The genus *Allium* – Taxonomic Problems and genetic Resources. Gatersleben, 1992. P. 107-123.

Intake of garlic and its bioactive components / H. Amagase, B.L. Petesch, H. Matsuura et al. // J. Nutr., 2001. V. 131, № 3s. P. 955-962.

Ip C. Hydroponic garlic enriched with selenium // J. Trase. Elem. Res., 1992. V. 15. P. 132-135.

Ip C. Lessons from basic research in selenium and cancer prevention // J. Nutr., 1998. V. 128, № 11. P. 1845-1854.

Ip C., Lisk D.J. Efficacy of cancer prevention by high-selenium garlic is primary dependent on the action of selenium // Cancer, 1995. V. 16. P. 2649-2652.

Ip C., Lisk D.J. Enrichment of selenium in allium vegetables for cancer prevention // Carcinogenesis, 1994. V. 15. P. 1881-1885.

Ip C., Lisk D.J., Stoewsand G.S. Mammary cancer prevention by regular garlic and selenium-enriched garlic // Nutr. Cancer, 1992. V. 17. P. 279-286.

Isolation of a  $\beta$ -Carboline Alkaloid from the Leaves of *Allium tuberosum* / J.S. Choi, J.Y. Kim, W.S. Woo et al. // Arch. Pharm. Res., 1988. V. 11, № 4. P. 270-272.

Kamanna V.S., Chandrasekhara N. Fatty acid composition of Garlic (*Allium sativum* L.) lipids // J. Amer. Oil Chem. Soc., 1980. V. 57, № 6. P. 175-176.

Kameoka H., Hashimoto S. Two sulfur constituents from *Allium schoenoprasum* // Phytochem., 1983. V. 22, № 1. P. 294-295.

Kawashima K., Mimaki Y., Sashida Y. Steroidal saponins from the bulbs of *Allium schubertii* // Phytochem, 1993. V. 32, № 5. P. 1267-1272.

Kim S.J., Kim G.-H. Quantification of quercetin in different parts of onion and its DPPH radical scavenging and antibacterial activity // Food Sci. Biotech., 2006. V. 15. P. 39-43.

Kowalski R., Rodkiewicz T. Fatty acids in oil from *Allium* vegetable seeds // Chemistry of Natural Compounds, 2009. V. 45, № 3. P. 409-410.

Lanzotti V. Bioactive polar natural compounds from garlic and onions // Phytochem. Rev., 2012. V. 11, № 2-3. P. 179-196.

Lanzotti V. Bioactive saponins from *Allium* and *Aster* plants // Phytochem. Rev., 2005. V. 4, № 3-4 P. 95-110.

Lawson L.D., Wang Z.D., Hughes B.G. HPLC analysis of allicin and other thiosulfinates in garlic clove homogenates // Planta Med., 1991. V. 57. P. 263-270.

Lee J., Harnly J.M. Free Amino Acid and Cysteine Sulfoxide Composition of 11 Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivars by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Selective Detection // J. Agric. Food Chem., 2005. V. 53, № 23. P. 9100-9104.

Ling W.H., Jones P.J.H. Dietary phytosterols: a review of metabolism, benefits and side effects // Life Sci., 1995. V. 57. P. 195-206.

Loewen P.C., Hengge-Aronis R. The role of the sigma factor sigma S (KatF) in bacterial global regulation // Annu. Rev. Microbiol., 1994. V. 48. P. 53-80.

Marschner H. Mineral plant nutrition of higher plants. London: Acad. Press, 1997. 889 p.

McNeal D.W. Taxonomy of North American species of *Allium* // The genus *Allium* – Taxonomic Problems and genetic Resources. Germany, Gatersleben, 1992. P. 195-204.

McNeal D.W., Jacobsen T.D. *Allium* L. // Flora of North America. New York: Oxford Univ. Press, 2002. V. 26. P. 224-276.

Mechanisms of chemoprevention and growth inhibition by selenium compounds / P.R. Harrison, J. Lanfear, L. Wu et al. // Selenium in Biology and Medicine: Proceedings of the 6th International Symposium. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996. P. 74-82.

Mei-chin Y., Wen-shen C. Antioxidant Activity of Several *Allium* members // J. Agric. Food Chem., 1998. V. 46. P. 4097-4101.

Methylselenol, a selenium metabolite, plays common and different roles in cancerous colon HCT116 cell and noncancerous NCM460 colon cell proliferation / H. Zeng, M. Briske-Anderson, M. Wu, M.P. Moyer // Nutrition and Cancer, 2012. V. 64. P. 128-135.

Minkkinen P., Yliruokanen I., Särkkä J. Environmental effect on the minor and trace element patterns of some aquatic plants // *Analisis*, 1988. V. 16. P. 169-172.

Mocchegiani E., Fabris N. Age-related thymus involution: zinc revers in vitro the thymolin secretion defect // *Int. J. Immunopharmacol.*, 1995. V. 17, № 9. P. 745-749.

Moreau R.A., Whitaker B.D., Hicks K.B. Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses // *Progress in Lipid Res.*, 2002. V. 41, № 6. P. 457-500.

Nayar N.M., Ahmedulla M., Rajendra S. Alliums in South Asia: importance, ethnobotanical uses, genetic recourses, enumeration of species and distribution // *The genus Allium – Taxonomic Problems and genetic Resources*. Germany, Gatersleben, 1992. P. 205-213.

Ness A.R., Chee D., Elliott P. Vitamin C and blood pressure – an overview // *J. Hum Hypertens.*, 1997. Vol. 11, N. 6. P. 343-350.

Noctor G., Foyer C.H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control // *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1998. V. 49. P. 249-279

Overexpression of p53 protein and DNA content are important biologic prognostic factors for thyroid cancer / T. Nishida, K. Nakao, M. Hamaji, M. Nakahara, M. Tsujimoto // *Surgery*, 1996. V. 119, № 5. P. 568-575.

Parthasarathi K., Sastry C.A. Amino acid composition of common varieties of onion and garlic // *Indian J. Pharm.*, 1959. V. 21, № 10. P. 283-285.

Phenolic compounds from *Allium schoenoprasum*, *Tragopogon pratensis* and *Rumex acetosa* and their antiproliferative effects / Z. Kucekova, J. Mlcek, P. Humpolicek, O. Rop, P. Valasek, P. Saha // *Molecules*, 2011. V. 16. P. 9207–9217.

Pirson A. A study of the nutrition and metabolism of *Fontinalis* and *Chlorella* // *Z. Bot.*, 1937. V.31. P. 193-267.

Poulsen N. Chives *Allium schoenoprasum* L. // *Onions and Allied Crops*. Ed. by J.L. Brewster, H.D. Rabinowitch. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1995. V. 3. P. 231-250.

Prasad T.K. Evidence for chilling – induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide // *Plant cell*, 1994. V. 6. P. 65-74.

Roberfroid M.B. Functional Foods and Intestine: Concepts, Strategies and Examples // Probiotics, other nutritional factors, and intestinal microflora / Eds. L.A. Hanson, R.H. Yolken. Nestle nutrition workshop ser. V. 42. Philadelphia. 1999. P. 203-211.

Roberfroid M.B. Global view on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition, 2002. V. 88, Suppl. 2. P. 133-138.

Rudra M.N. Role of manganese in the biological significance of ascorbic acid // Nature, 1944. V. 153. P. 743-744.

Seasonal variations of heavy metals in sediments and aquatic mosses from the Cávado river basin (Portugal) / E. Concales, H. Soares, R. Boaventura et al. // Sci. Total Environm., 1994. V. 142, № 3. P. 143-156.

Selenium and selenocysteine: roles in cancer, health, and development / D.L. Hatfield, P.A. Tsuji, B.A. Carlson, V.N. Gladyshev // Trends Biochem. Sci., 2014a. V. 39, № 3. P. 112-120.

Selenium for preventing cancer / M. Vinceti, G. Dennert, C.M. Crespi et al. // Cochrane Database Syst. Rev., 2014b. V. 30, № 3.

Separation and identification of prostaglandin A<sub>1</sub> in onion / K.A. Attrep, W.P. Bellman, M. Attrep et al. // Lipids, 1980. V. 15, № 5. P. 292-297.

Sigel A., Sigel H. Molybdenum and tungsten. Their roles in biological processes // Metal ions in biological systems. New York: Marcel Dekker, 2002. P. 317-368.

Sinha A., Sanual A. Separation and estimation of sugar components of *Allium cepa* L. (n. o. Liliaceae) by paper chromatography // Curr. Sci. (India), 1959. V. 28, № 7. P. 281-282.

Skrzypezakowa L. Flawonoidy w rodzinie Liliaceae // Dissertationes Pharmaceuticae et Pharmacologicae, 1967. V. 19, № 5. P. 537-541.

Smith A.H., Imlay J.A., Mackie R.I. Increasing the Oxidative Stress Response Allows *Escherichia coli* To Overcome Inhibitory Effects of Condensed Tannins // Appl. Environ. Microbiol., 2003. V. 69(6). P. 3406-3411.

Smoczkiwiczowa M.A., Lutomski J., Nitschke D. Charakterystyka chemiczna i farmakologiczna cebuli zwyczajnej (*Allium cepa* L.) // Herba Polonica, 1981. V. 27 (2). P. 13-16.

Some nutritional and technological properties of garlic (*Allium sativum* L.) / H. Haciseferoğullari, M. Özcan, F. Demir, S. Çalişir // J. Food Eng., 2005. V. 68, Iss. 5. P. 463-469.

Spirostane and cholestane glycosides from the bulbs of *Allium nigrum* L. / A. Jabrane, H.B. Janne, T. Miyamoto et al. // Food Chem., 2011. V. 125, № 2. P. 447-455.

Stearn W.G. How many species of *Allium* are known? // The Kew bot. magazine, 1992. V. 9, pt. 4. P. 180-182.

Šteiner D., Čanadanović-Brunet J., Pavlović A. *Allium schoenoprasum* L., as a natural antioxidant // Phytother. res., 2004. V. 18. P. 522-524.

Steroidal glycosides from *Allium macleanii* and *A. senescens*, and their inhibitory activity on tumour promoter-induced phospholipid metabolism of hela cells / T. Inoue Y. Mimaki, Y. Sashida et al. // Phytochem., 1995. V. 40, № 2. P. 521-525.

Steroidal glycosides from the underground parts of *Allium ursinum* L. and their cytostatic and antimicrobial activity / D. Sobolewska, Z. Janeczko, W. Kisiel et al. // Acta Pol. Pharm. Drug Res., 2006. V. 63, № 2. P. 219-223

Sterols. CLVII. Sapogenins. LXIX. Isolation and Structures of Thirteen New Steroidal Sapogenins. New Sources for Known Sapogenins / R.E. Marker, R.B. Wagner, P.R. Ulshafer et al. // J. Amer. Chem. Soc., 1943. V. 65. P. 1199-1209.

Storz G., Imlayt J.A. Oxidative stress // Curr. Opin. Microbiol., 1999. V. 2. № 2. P. 188-194.

Structure and cytotoxicity of steroidal glycosides from *Allium schoenoprasum* / G. Timité, A.-C. Mitaine-Offer, T. Miyamoto C. Tanaka, J.-F. Mirjolet, O. Duchamp, M.-A. Lacaille-Dubois // Phytochem., 2013. V. 88. P. 61-66.

Tache S., Ladam A., Corpet D.E. Chemoprevention of aberrant crypt foci in the colon of rats by dietary onion // Eur. J. Cancer, 2007. V. 43, № 2. P. 454-458.

Tsiaganis M.C., Laskari K., Melissari E. Fatty acid composition of *Allium* species lipids // J. Food Compos. Analysis, 2006. V. 19, № 6-7. P. 620-627.

Turlapaty P.D.M.V., Altura B.M. Magnesium deficiency produces spasms of coronary arteries: relationship to etiology of sudden death ischemic heart disease // Science, 1980. V. 208. P. 198-200.

Wang T., Hicks K.B., Moreau R. Antioxidant activity of phyto-sterols, oryzanol, and other phytosterol conjugates // J. Am. Oil Chem. Soc., 2002. V. 79. P. 1201-1206.

Wendelbo P. New subgenera, sections and species of *Allium* // Bot. Notiser., 1969. V. 122, № 1. P. 25-37.

Weststrate J., Meijer G. Plant sterol-enriched margarines and reduction of plasma total- and LDL-cholesterol concentrations in normocholesterolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects // Eur. J. Clin. Nutr., 1998. V. 52, № 5. P. 334-343.

Whanger P.D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance // J. of the American College of Nutrition, 2002. V. 21(3). P. 223-232.

Wu L., Huang Z.Z., Burau R.G. Selenium accumulation and selenium-salt co-tolerance in five grass species // Crop Sci., 1988. V. 28. P. 517-522.

Zeng H., Wu M., Botnen J.H. Methylselenol, a selenium metabolite, induces cell cycle arrest in G1 phase and apoptosis via the extracellular-regulated kinase 1/2 pathway and other cancer signaling genes // J. Nutr., 2009. V. 139, № 9. P. 1613-1618.

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. БОТАНИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТЕНИЙ РОДА <i>ALLIUM</i> .....	8
1.1 Род <i>Allium</i> : распространение и видовое разнообразие.....	8
1.2 Метаболиты растений рода <i>Allium</i> и их значение для человека .....	11
1.2.1 Углеводы.....	14
1.2.2 Азот и азотсодержащие вещества .....	14
1.2.3 Липиды .....	15
1.2.4 Жирные кислоты .....	17
1.2.5 Эфирные масла.....	17
1.2.6 Фенольные соединения .....	19
1.2.7 Витамины.....	21
1.2.8 Стероидные гликозиды.....	21
1.2.9 Алкалоиды .....	26
1.2.10 Макроэлементы .....	27
1.2.11 Микроэлементы .....	29
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	37
Глава 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШНИТТ-ЛУКА В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ .....	47
Глава 4. БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МИКРОНУТРИЕНТЫ В ШНИТТ-ЛУКЕ .....	51
4.1 Липиды: компонентный и жирнокислотный состав .....	51
4.1.1 Высшие жирные кислоты в составе нейтральных липидов.....	52
4.1.2 Стерины в составе нейтральных липидов .....	53
4.2 Стероидные гликозиды.....	54
4.3 Азотистые вещества .....	60
4.4 Содержание макро- и микроэлементов .....	65
4.5 Селен и экспериментальное повышение его содержания в шнитт-луке.....	80
4.6 Аскорбиновая кислота.....	88
Глава 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ <i>ALLIUM SCHOENOPRASUM</i> .....	92
5.1 Оценка антиоксидантной активности экстрактов шнитт-лука....	92
5.2 Исследование противоопухолевой активности субстанций из шнитт-лука .....	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	110
ЛИТЕРАТУРА .....	114

*Научное издание*

И.В. Бешлей, Т.И. Ширшова, В.В. Володин

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МИКРОНУТРИЕНТЫ  
В ЛУКЕ *ALLIUM SCHOENOPRASUM* L.  
НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

*Рекомендовано к изданию*  
*Ученым советом Института биологии Коми НЦ УрО РАН*

Оригинал-макет и корректура Е.А. Волкова

---

Издание электронное. DOI: 10.31140/book-2020-02



Рис. 3. Шнитт-лук. Правый берег р. Паток, Приполярный Урал (фото В. Канева).



Рис. 4. Заросли шнитт-лука. Заказник «Макар-из» (фото В. Канева).



Рис. 5. Заросли лука *A. schoenoprasum* в Печоро-Илычском заповеднике на хребте Мань-Хамбо (фото В. Канева).

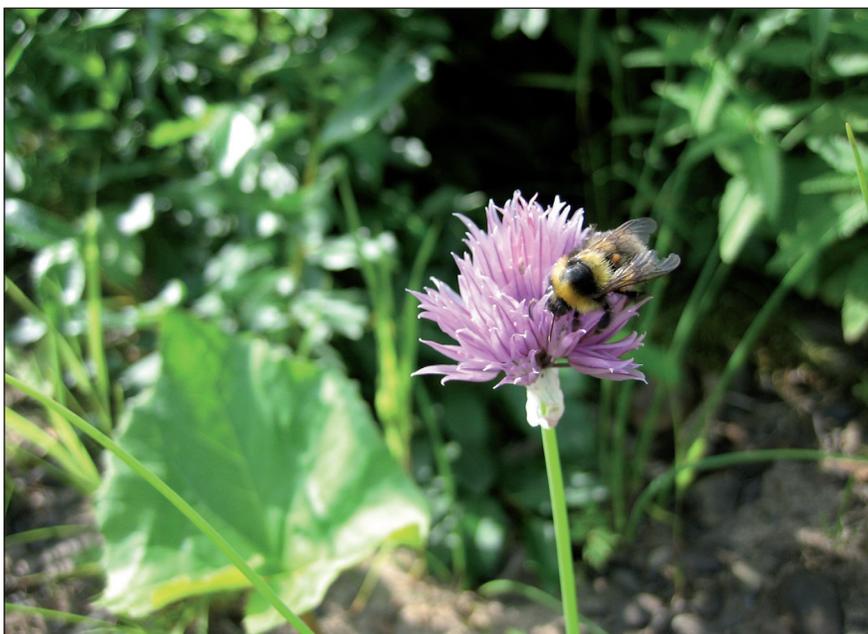


Рис. 6. Шнитт-лук. Берег р. Цильма, заказник «Верхнецилемский» (фото О. Валуйских).



Рис. 7. Шнитт-лук. Берег р. Илыч, Печоро-Илычский заповедник (фото В. Канева).



Рис. 8. Заросли шнитт-лука. Печоро-Илычский заповедник, берег р. Илыч, Республика Коми (фото В. Канева).



Рис. 9. Заросли шнитт-лука. Берег р. Цильма, заказник «Верхнецилемский» (фото О. Валуйских).



Рис. 10. Шнитт-лук в коллекции Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН (фото Н. Матистова).



Рис. 11. *A. schoenoprasum* var. *major* (слева) и *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova* (справа), коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии (фото И. Бешлея).



Рис. 12. *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova*, коллекция лаборатории биохимии и биотехнологии (фото И. Бешлея).



Рис. 15. Соцветие шнитт-лука (фото И. Бешлея).



Шнитт-лук. Национальный парк «Югыд ва», левый берег р. Кожим (фото К. Ткаченко).



**Игорь Васильевич Бешлей** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Область научных интересов – биологически активные вещества пищевых и лекарственных растений флоры Республики Коми, изучение компонентного состава растений, выделение индивидуальных соединений, их идентификация с использованием современных физико-химических и спектральных методов, изучение антиоксидантной и физиологической активности. Автор более 60 научных работ.



**Татьяна Ивановна Ширшова** – кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Почетный деятель науки Республики Коми. Область научных интересов – химия природных соединений, биологически активные вещества растений, их физиологические свойства, фармаконутриентология. Библиографический список Т.И. Ширшовой включает более 160 публикаций, в том числе два авторских свидетельства СССР, четыре патента Республики Молдова, пять монографий.



**Владимир Витальевич Володин** – д.б.н., профессор, врио заведующего лабораторией биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, врио зам. директора ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по научной работе. Лауреат премии Правительства Республики Коми в области научных исследований за цикл работ «Ресурсы и биотехнология эрдистероидсодержащих растений» (2009 г.), Заслуженный работник Республики Коми, Почетный работник науки и высоких технологий РФ. Внес существенный вклад в изучение растений европейского северо-востока России – продуцентов важнейших групп биологически активных веществ и создание научных основ их биотехнологического использования и воспроизводства. Автор и соавтор более 280 научных работ, с том числе 123 статей в рецензируемых журналах, пяти монографий и 15 патентов РФ.