

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 1 (9)

2015

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

- Жужжалова Т. П., Семенова Е. Ф., Преснякова Е. В.* Возрастные изменения растений эфиромасличной розы в онтогенезе 3
- Жученко Е. В., Семенова Е. Ф., Маркелова Н. Н., Шпичка А. И., Князькова А. А.* Влияние эфирных масел на микроорганизмы различной таксономической принадлежности в сравнении с современными антибиотиками. Сообщение III. Действие масел лаванды, розового дерева, эвкалипта, пихты на некоторые грамотрицательные бактерии 30
- Ястремская Я. П., Любченко О. Д.* Изучение влияния подкожной имплантации инновационных углеродных наноконструкций на изменение антиоксидантного статуса в головном мозгу животных 42

ХИМИЯ

- Чугунов Д. Б., Ключагина А. Н., Осипов А. К., Мешков Л. Л.* Анодное поведение сплавов системы Al–Cu–Fe–Cr в кислых и нейтральных средах 51
- Нуштаева А. В.* Фотометрический анализ бинарной системы гексилламин – вода 59

ЭКОЛОГИЯ

- Уткина (Трулова) А. С., Мазей Ю. А.* Видовой состав, структура и сезонная динамика сообщества раковинных амёб в Никольском моховом болоте (Среднее Поволжье) 67
- Мазей Ю. А., Ембулаева Е. А.* Изменения сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль катен в лесостепной зоне 98

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION**

NATURAL SCIENCES

№ 1 (9)

2015

CONTENTS

BIOLOGY

-
- Zhuzhzhhalova T. P., Semenova E. F., Presnyakova E. V.* Age-related changes of plants of essential oil rose in ontogenesis 3
- Zhuchenko E. V., Semenova E. F., Markelova N. N., Shpichka A. I., Knyaz'kova A. A.* Influence of essential oils on microorganisms belonging to different taxons in comparison with modern antibiotics. Report III. Effects of essential oils of lavender, rosewoodtree, eucalyptus, fir on some Gram-negative bacteria 30
- Yastremskaya Y. P., Lyubchenko O. D.* The study of the effect of subcutaneous implantation of innovative carbon nanocomposites on antioxidant status change in the rats' brain 42

CHEMISTRY

-
- Chugunov D. B., Kljuchagina A. N., Osipov A. K., Meshkov L. L.* Anodic behavior of alloys Al–Cu–Fe–Cr in acidic and neutral solutions 51
- Nushtaeva A. V.* Photometric analysis of the binary system of hexylamine – water 59

ECOLOGY

-
- Utkina (Trulova) A. S., Mazei Yu. A.* Species composition, structure and seasonal dynamics of testate amoeba community in Nikolskoye bog (Middle Volga region) 67
- Mazei Yu. A., Embulaeva E. A.* Soil-inhabited testate amoebae community patterns along catenas in the forest-steppe native zone 98

УДК 582.734.4:58.01:581.4

Т. П. Жужжалова, Е. Ф. Семенова,
Е. В. Преснякова

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТЕНИЙ ЭФИРОМАСЛИЧНОЙ РОЗЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ

Аннотация.

Актуальность и цели. Возрастные состояния в развитии роз (шиповников) тесно взаимосвязаны с органообразовательными процессами. Характер и продолжительность их взаимодействия определяют формирование листового аппарата, генеративных органов и корневой системы. Мы провели детальный анализ возрастной периодизации жизненного цикла и выявили взаимосвязь возрастных состояний с этапами органогенеза у розы.

Материалы и методы. Исследования проведены в 1982–2014 гг. на базе ВНИИ эфиромасличных культур (Крым) и Пензенского государственного университета. Объектами изучения служили 10 видов, 11 сортов и два гибрида розы эфиромасличной. Особенности формирования растений, органов и цитоструктур изучали на временных и постоянных препаратах в соответствии с общепринятыми для розы методиками [1].

Результаты. Рост и развитие большинства видов и форм протекает медленно, образование цветков и плодов происходит на 2–3-м году жизни, наблюдаются общая последовательность заложения частей цветка, единый план строения и одинаковые фазы его распускания. Наиболее вариабельными являются количественные и качественные признаки, характеризующие элементы цветка и цинародия. Особенности прохождения этапов онтогенеза у исследованных образцов является то, что в 1-й год своего развития часть растений (не более 10 %) доходит до виргинильного состояния, остальные уходят под зиму в имматурном возрастном состоянии. На 2-й год все растения вступали во взрослое генеративное состояние, увеличивалось количество побегов, наблюдались цветение и плодоношение. К 4-му году вегетативные побеги достигают сенильного возрастного состояния и на 5-й год погибают. Генеративные побеги оказались более жизнеспособными, их гибель происходит на 6–7-й год. Естественная гибель растения (куста) розы, как правило, происходит в 20–30-летнем возрасте, а его жизнеспособность поддерживается за счет побегов возобновления.

Выводы. Установленные взаимосвязи возрастных состояний розы с фазами развития растения и этапами органогенеза позволяют более объективно охарактеризовать интродуценты, поскольку дают возможность комплексно оценить ростовые показатели, генеративное развитие растений, определить величину их биологических возможностей и амплитуду пластичности в конкретных условиях среды, т.е. степень перспективности многолетних кустарников.

Ключевые слова: онтогенез, органогенез, морфогенетические изменения, возрастные состояния, виды и формы розы.

T. P. Zhuzhzhhalova, E. F. Semenova, E. V. Presnyakova

AGE-RELATED CHANGES OF PLANTS OF ESSENTIAL OIL ROSE IN ONTOGENESIS

Abstract.

Background. Age-related changes in the development of the roses are closely interrelated with organoarsenicals processes. The nature and duration of their interaction determine the formation of the leaf apparatus, generative organs and the root system. The authors undertook a detailed analysis of the age periodization of the life cycle and determined the relationship of age-related conditions with the stages of organogenesis of roses.

Materials and methods. The research was conducted in 1982–2014 on the basis of AUSRI of essential oil-bearing crops (Crimea) and Penza State University. The objects of the study were 10 species of 11 varieties and 2 hybrids of essential oil roses. The peculiarities of plant organs' formation and cytological structure were studied at temporary and permanent preparations in accordance with techniques generally accepted for roses [1].

Results. Growth and development of most types and forms are slow, the formation of flowers and fruit occurs during the second or third year of life, there are followed the general sequence of laying parts of the flower, a single plan structure and the same phase of its blooming. The most variable are quantitative and qualitative features that characterize elements of the flower and fruit. The specifics of stages of ontogenesis in the samples studied is that in its first year of development the plant (less than 10 %) reaches the virginal state, and the rest goes towards the winter in a state of immature age. In the second year all the plants entered into an adult generative state, the number of shoots increased, flowering and fruiting was observed. By the fourth year, the vegetative shoots reach the senile age condition and die by the fifth year. Generative shoots are more viable, their death occurs in 6–7 years. The natural death of a rose plant (a bush) usually occurs between the ages of 20–30 years, and its viability is maintained by shoot regeneration.

Conclusions. The established relationship between age states of roses and the phases of plant development and organogenesis stages allows to more objectively describe the introducers by providing opportunities to comprehensively assess the growth performance, generative development of plants, determine the value of their biological capacity and amplitude of plasticity in specific environments, and hence the deserving degree of long-term shrubs.

Key words: ontogenesis, organogenesis, morphogenetic changes, age-related changes, types and forms of roses.

Введение

Возрастные состояния в развитии роз (шиповников) тесно взаимосвязаны с органообразовательными процессами. Характер и продолжительность их взаимодействия определяют формирование листового аппарата, генеративных органов и корневой системы. Функционирование репродуктивной сферы является важнейшим фактором интродукционной работы.

Виды и формы розы эфиромасличной являются многолетними растениями, у которых большой жизненный цикл продолжается в среднем 30 лет. Развитие растений розы от семени до семени длится, как правило, два вегетационных периода: в 1-й год растение образует лишь вегетативные органы: побег, состоящий из стебля с очередными листьями, и стержневую корневую систему; во 2-й год (и последующие годы жизни) формируются цветonoсные

побеги, в генеративных органах которых происходят цветение, опыление, оплодотворение, образование плодов и семян.

Морфологическим изучением эфиромасличной розы занимались В. Топалов [2–4], В. И. Клюка [5], В. М. Стайков [6, 7], Л. В. Гайдукова [8], С. Г. Димитров [9], А. И. Челядинова и др. [10], Б. А. Номеров [11, 12], Р. Ц. Раев [13], З. П. Буткене [14], Л. Г. Назаренко [15–19], М. И. Власов [20], Л. В. Демидов [21] и др. Результаты их исследований позволили выявить целый ряд закономерностей роста и развития этой культуры. Вместе с тем возрастная периодизация жизненного цикла и взаимосвязь возрастных состояний с этапами органогенеза у розы до сих пор остаются недостаточно изученными. Виды розы в растительном мире рассматриваются как кустарники. Главными особенностями развития кустарников, в том числе роз, являются, по мнению А. И. Челядиновой и соавторов [10], небольшая длительность жизни главной оси и замещающих ее скелетных осей; биологическое сходство в надземной и подземной сферах с травянистыми многолетниками; способность скелетных осей к возобновлению за счет образования новых вегетативных побегов. Однако важным в познании закономерностей жизненных процессов многолетних растений эфиромасличной розы является выяснение хода развития генеративного побега. В связи с этим актуально детальное исследование V–XII этапов органогенеза, связанных с семенным размножением (генеративным репродуцированием) видов и форм розы.

Цель исследования – провести анализ возрастной периодизации жизненного цикла и выявить взаимосвязь возрастных состояний с этапами органогенеза у розы.

Материал и методы

Исследования проведены в 1982–2014 гг. на базе ВНИИ эфиромасличных культур (Крым) и Пензенского государственного университета. Объектами изучения служили 10 видов: *Rosa alba* L., *R. kasanlika* V. T., *R. gallica* L., *R. centifolia* L. f. *muscosa*, *R. lutea* Mill. (*R. foetida* Herrm.), *R. rugosa* Thunb., *R. cinnamomea* L. (*R. majalis* Herrm.), *R. canina* L., *R. odessiana* hort., *R. pygmaea* Vieb.; 11 сортов: Лань, Мичуринка, Украина, Фестивальная, Таврида, Кооператорка, Крымская Красная, Весна, Кавказская Красная, Радуга, Прима Красная; два гибрида розы эфиромасличной: 7806, М-215. Материал для исследования был взят в основном от растений коллекционного участка экспериментальной базы ВНИИЭМК (поселок Крымская Роза Белогорского района), расположенной в северной предгорной части Крымского полуострова. Также изучали образцы, выращенные в условиях Ботанического сада им. И. И. Спрыгина (г. Пенза).

Технологические операции осуществляли в соответствии с общепринятыми рекомендациями по возделыванию культуры розы [17]. Изучение коллекции видов и форм проводили в питомнике. Фенологические наблюдения осуществляли по фазам развития изучаемых растений [22]. Показатели учитывались с использованием методики, разработанной в ГБС АН СССР [23]. Изучение онтоморфогенеза проводилось по методикам Т. А. Работнова [24], О. В. Смирновой и др. [25].

Для изучения элементов репродуктивной биологии использовали различные типы и способы опыления: свободное опыление без изоляции, груп-

повая изоляция, естественное самоопыление при индивидуальной изоляции, искусственное самоопыление при индивидуальной изоляции, включая доопыление [26]. Учет завязываемости плодов и семян проводили в два срока: через 3 дня после раскрытия цветка и к моменту уборки. Искусственную гибридизацию выполняли путем предварительной кастрации материнских бутонов (за 1–2 дня до раскрытия цветка), их изоляции с последующим нанесением отцовской пыльцы методом аллогамии, гейтеногамии, ксеногамии, автогамии. В качестве материала для изоляторов использовали полупергаментную бумагу, двухслойную марлю, «спондбонд».

Морфологический анализ андроеца и гинецея проводили путем подсчета количества тычинок, пестиков и семязачатков не менее чем на 30 цветках каждого порядка к моменту их раскрытия. Состояние зародышевых мешков учитывали во всех семязачатках 10 цветков данного образца. Сравнительную оценку фертильности пыльцы цветков в зависимости от их положения в соцветии проводили на ацетокарминовых препаратах. Анализировали 200–300 пыльцевых зерен каждого из 10 цветков данного порядка. Диаметр пыльцевых зерен измеряли с помощью окулярного микрометра МОВ-1-15^х при увеличении $40 \times 15 \times 1,1$. Объем выборки для каждого образца не менее 100 пыльцевых зерен.

Прорастание пыльцы на рыльце пестика в различных стадиях его готовности («молодое» – за 1–2 дня до раскрытия цветка, «зрелое» – через 1–2 дня, «старое» – через 3–4 дня после раскрытия цветка) по 46 комбинациям скрещивания и самоопыления исследовали в динамике роста пыльцевых трубок, окрашивая пестики в лактофеноле [27], или анализировали люминесцентным методом после окраски 0,005 %-м водным раствором анилинового голубого [28]. Для возбуждения света люминесценции использовали люминесцентные осветители ОИ-28 и ОИ-18А, оценку проводили визуально. Особенности формирования фито- и цитоструктур изучали на временных и постоянных препаратах (анатомических срезах) в соответствии с общепринятыми методиками [29, 30]. Темпоральную фиксацию проводили с момента выхода бутонов из обертки листьев. В качестве фиксаторов использовали ацеталкоголь (3:1), фиксатор Карнуа (6:3:1), фиксатор Чемберлена (90:5:5), а также в некоторых случаях осуществляли вакуумную фиксацию хром-ацет-формоловой смесью по С. Г. Навашину (10:4:1). В спиртовых фиксаторах материал выдерживали в течение 6 ч (3 ч при комнатной температуре и 3 ч при 6–8 °С), в фиксаторе Чемберлена – 4 ч при комнатной температуре и далее хранили в холодильнике, в фиксаторе Навашина – 24 ч в темноте. Тотальные препараты окрашивали ацетокармином. Постоянные препараты готовили с толщиной среза 10–25 мкм. Микроскопирование осуществляли после окрашивания микропрепаратов генциановым фиолетовым по Ньютону, по Я. С. Модилевскому (основным фуксином с подкраской лихтгрюном), реактивом Шиффа по Фельгену (оптимальное время гидролиза при 60 °С – 7 мин), метиленовым синим, йодом, черной тушью, суданом III, IV.

С целью ускорения исследований была разработана методика анализа развития и состояния женского гаметофита розы на основе ферментативной мацерации семязачатков [31, 32]. Анализировали не менее 30 зародышевых мешков каждого образца из семязачатков, занимающих 2–4 положения, считая от основания гипантия. Ход мейоза при микроспорогенезе изучали на временных препаратах. Для количественной оценки результатов мейоза ана-

лизировали 500 тетрад. Препараты исследовали на микроскопах МББ-1А, МБИ-15 с фотонасадкой МФНЭ-1 и камерой ФКМ-1. Фотографирование микро- и макрообъектов проводили также цифровыми фотокамерами Nikon Coolpix 2500, Nikon Coolpix 6300, Panasonic DMC-FX100 с объективом Lumix 12 mega pixels. Обработку результатов проводили с помощью статистической программы STATISTICA 10.0 Trial Version [33, 34].

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований показали, что жизненный цикл видов и форм рода *Rosa* L. согласно универсальной классификации, принятой в фитоценологии [24, 25], включает латентный, прегенеративный, генеративный и постгенеративный периоды, которые находятся в тесной взаимосвязи с фазами развития растений и этапами органогенеза (табл. 1).

Таблица 1

Взаимосвязь возрастных состояний розы с фазами развития растения и этапами органогенеза

Возрастной период	Возрастное состояние	Продолжи-тельность	Этап органогенеза	Фаза развития растений	
Латентный (эмбриональный)	Покоящиеся семена	От 6 месяцев до 2 лет и более		Семена	
Прегенеративный (ювенильный)	Проросток	1–2 недели*	I	Всходы: расхождение семядолей и появление тройчатосложного листа	
	Ювенильное	2–4 недели*	II	Формирование тройчато-сложных листьев на побеге: с 2 по 6	
	Имматурное	2–4 недели	III–IV	Формирование непарно-перистосложных листьев на побеге*: с 7 по 12 (дифференциация почек на генеративные и вегетативные **)	
	Виргинильное	1–2 месяца**	V–VI	Побегообразование: ветвление, облиствение	
Генеративный (половой зрелости и размножения)	Раннее генеративное	20–30 дней**	VII–VIII	Бутонизация	
	Зрелое генеративное	18–25 дней**	IX	Цветение	
	Позднее генеративное	30–50 дней**	X	Зеленая	Спелость
		20–30 дней**	XI	Бронзовая	
		15–40 дней**	XII	Полная	
Постгенеративный (сенильный)	Субсенильное	10–20 дней**		Отмирание листьев (листопад)	
	Сенильное	3–6 месяцев спустя 15–20 лет жизни (иногда свыше 80 лет)		Отмирание надземных и подземных органов	

Примечание. Продолжительность каждого этапа отражает среднее количество времени, которое может изменяться в зависимости от погодно-климатических условий региона: * – в 1-й год жизни; ** – ежегодно, во 2-й и последующие годы жизни растения розы.

Латентный период сопряжен с состоянием морфофизиологического покоя семян. Он длится не менее 0,5–2 лет, но может продолжаться и несколько лет, в зависимости от условий хранения. По нашим данным, пониженные положительные температуры (4–6 °С) позволяют сохранить жизнеспособность семян в воздушно-сухих орешках розы до 30 лет. Орешки розы имеют комбинированный тип покоя, вызываемый сочетанием экзогенных (околоплодник и семенная кожура) и эндогенных (состояние зародыша) факторов. Масса 1000 плодов (орешков) варьирует в зависимости от вида и формы в пределах от 13,8 г (*R. rugosa* Прима Красная) до 67,0 г (*R. alba*), у *R. gallica* Крымская Красная этот показатель равен 27,7 г. В среднем по коллекции эфиромасличной розы масса 1000 плодов составляет 20–30 г.

Семенное размножение используют при выращивании дикорастущих роз, подвоев-шиповников и селекции [35]. Сложные плоды – цинародии, образованные мясистым гипантием, замыкающимся после оплодотворения, содержат от 1 до 50 односемянных орешков в зависимости от вида или формы (рис. 1). 1 т свежесобранных цинародиев дает до 150–200 кг орешков. Орешки имеют твердую оболочку, что снижает газопроницаемость покровов семени.



Рис. 1. Общий вид цинародиев (а – *R. cinnamomea*), орешков (б – *R. gallica*, в – *R. canina*) розы

Эндокарпий толстый, со сросшимся швом. Семена с крупным зародышем, без эндосперма. Семенная кожура тонкая [36]. Покой семян связан с прекращением доступа воды и кислорода к зародышу. При этом подавляются процессы дыхания и превращения веществ. Непроницаемость одревесневшей оболочки плодов препятствует выходу углекислого газа и кислот, накапливающихся в семенах и тормозящих их дальнейшее развитие.

Прегенеративный период у розы длится от 2 до 5 месяцев, включает следующие возрастные состояния: проросток, ювенильное, имматурное и виргинильное – и объединяет с I по VI этапы органогенеза (рис. 2). Основными критериями их различий являются новизна функционального назначения формирующихся органов и их морфологически выраженные изменения.

Как правило, посев осуществляют осенью, в зимнее время семя проходит период яровизации, всходы появляются весной. Всхожесть семян очень низкая, не превышает 7,5 %. Их прорастание является сложным процессом. Орешки, долго находящиеся в цинародиях и имеющие твердую оболочку, затрудняют процесс прорастания и значительно снижают общую всхожесть. Поэтому для посева используют орешки из цинародиев в фазе бронзовой

спелости, когда покровы не полностью одревеснели, что способствует быстрому прорастанию. С целью повышения энергии прорастания и всхожести семян используют стратификацию, скарификацию орешков, а также стимуляторы и вещества, разрушающие покровы орешков (например, серная кислота).

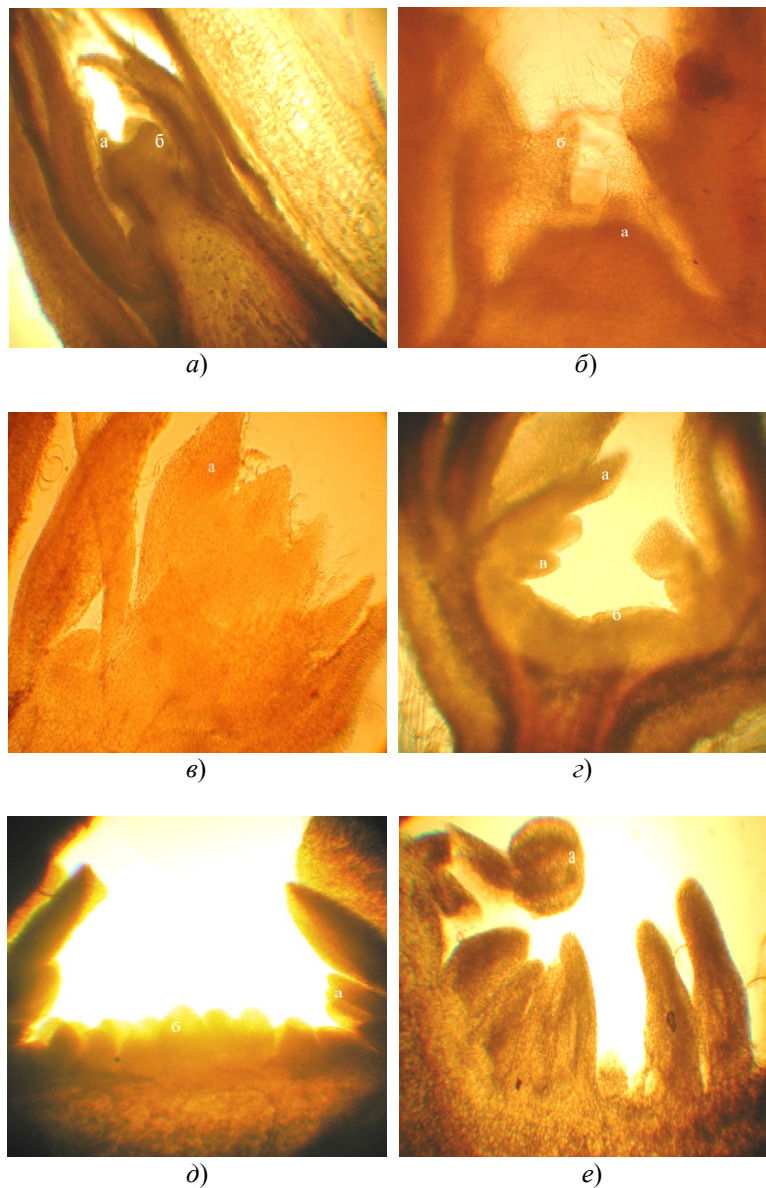


Рис. 2. Вегетативная почка розы (II этап органогенеза) (а): а – меристематические бугорки прилистников; б – меристематические бугорки листьев; переход почки в генеративное состояние (III этап органогенеза) (б): а – конус нарастания; б – меристематические бугорки прилистников; IV этап органогенеза (в): а – зачатки чашелистиков; V этап органогенеза (г): а – зачатки лепестков; б – зачатки тычинок; в – зачатки пестиков; VI этап органогенеза – развитие зачатков тычинок и начало формирования плодolistиков (д): а – зачатки тычинок; б – зачатки пестиков; VII этап органогенеза (продольный срез бутона) (е): а – зачатки пыльников, б – зачатки пестиков (фото по [37]).

Проросток. Возрастное состояние проростка начинается весной с прорастания семян и продолжается до 2-х недель, сопровождаясь появлением семядолей, их расхождением и разворачиванием первых листьев при очередном расположении. Роза имеет надземный (эпигеальный) тип прорастания, характеризующийся наличием первичного корешка и гипокотилия, который выносит семядоли на поверхность почвы (рис. 3).

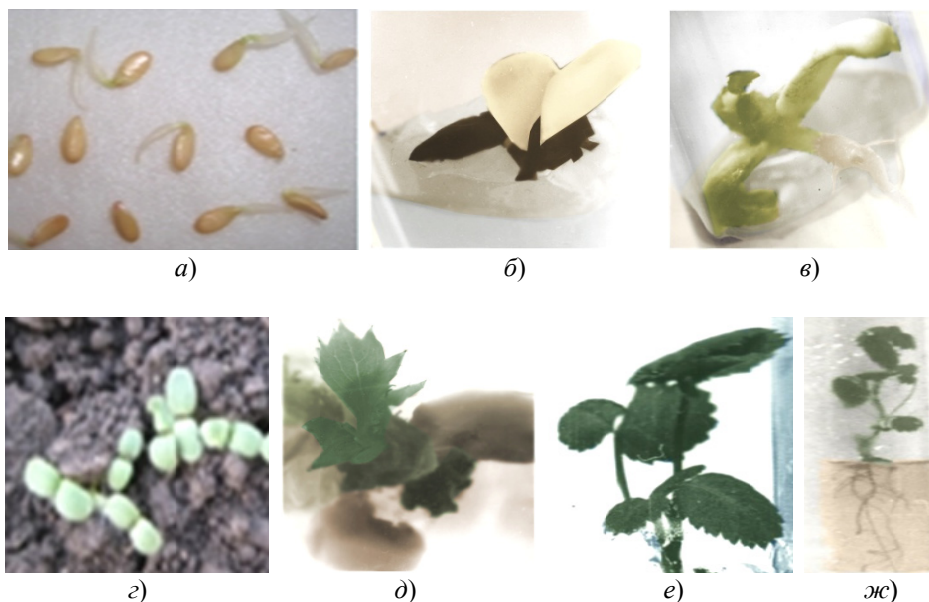


Рис. 3. Этапы формирования проростка розы: а – появление первичного корешка при изоляции семян от покровов орешков; б – появление семядолей из плодовой оболочки и семенной кожуры, их расхождение; в – удлинение и утолщение главного корня; г – позеленение и увеличение размеров семядолей при выносе на поверхность почвы; д – появление первого листа; е – появление настоящих тройчатосложных листьев; ж – полностью сформированный проросток

У растений, развивающихся из семян, так называемых сеянцев, на границе между корневой системой и надземной частью из подсемядольного колена образуется корневая шейка. У растений, полученных путем вегетативного размножения, эта граница называется условной корневой шейкой. При прорастании твердая, деревянистая оболочка орешка и семенная кожура семени лопаются, и наружу выходит первичный корешок зародыша, из которого затем формируется главный корень (рис. 3, а, б). Обычно появляются 2 семядольных листа (может быть 3 и больше), иногда частично или полностью альбиносные (рис. 3, в). Семядольные листья зеленеют, увеличиваются в размере (рис. 3, г). Они имеют разную форму: от крупных и овальных до длинных и узких [11]. После разворачивания семядольных листьев формируются первый, второй и т.д. листья. Следует заметить, что часто первый лист не является тройчатосложным, а бывает простым с округлой формой листовой пластинки, зубчатым или двоякопильчатым ее краем, и расчлененным в разной степени: например, как у *Crataegus sanguinea* Pall. или *Potentilla alba* L. (рис. 3, д). Настоящий тройчатосложный лист может быть и вторым, и треть-

им (рис. 3,е). Появление его происходит через 7–10 дней после выноса семядолей на поверхность. Длина первого тройчатосложного листа не превышает 2,5 см, ширина 3,0 см, длина рахиса 3,5 см. Междоузлия очень сближены. Начинает формироваться стержневая корневая система: на главном корне наблюдается образование первых боковых корешков. Проросток становится независимым от запаса питательных веществ семени и переходит к автотрофному существованию. Период прорастания сопряжен с I этапом органогенеза, что выражается наличием недифференцированного конуса нарастания главного побега в виде плоского или слегка выпуклого бугорка, у основания которого наблюдается закладка зачаточных листьев. После появления настоящего тройчатосложного листа наблюдается переход в ювенильное состояние (рис. 3,ж).

Ювенильное состояние характеризуется тем, что начинает формироваться стержневая корневая система путем образования боковых корней (ветвления главного корня) и многочисленных корневых волосков на них. Корни розы имеют те же особенности, что и корни других высших растений: корневой чехлик, конус нарастания, зону роста и зону поглощения с корневыми волосками, проводящую зону. При появлении второго тройчатосложного листа происходят увядание, пожелтение и отмирание семядольных листьев, и наступает II этап органогенеза, который продолжается не более месяца. Размеры второго тройчатосложного листа увеличиваются по сравнению с аналогичными показателями первого настоящего листа. Листья формируются весь вегетационный период.

В первый вегетационный период начинается формирование скелетных побегов куста розы, сопряженное с II этапом органогенеза: дифференциацией конуса нарастания побега и закладкой зачаточных листьев от 2 до 5 в зависимости от условий года и генотипических особенностей коллекционного образца. У розы почки сложные и состоят из верхушечной и двух боковых, которые закладываются на 30–40 дней позже. Эти почки остаются в покое до весны следующего года.

Имматурное состояние сопровождается закладкой и разворачиванием непарноперистых листьев, в пазухах которых формируются конусы нарастания боковых побегов. Окончательно формируется осевой побег, который нарастает верхушкой – моноподиально. Размер листьев несколько уменьшается, однако общее их количество увеличивается и наиболее интенсивно нарастает листовая поверхность. Листья у роз сложные, непарноперистые, с длинным рахисом, очередные, располагаются на побегах спирально. Каждый лист состоит из 5–7, а у некоторых видов – из 9–13 листочков. У основания рахиса имеется прилистник. Количество, форма, величина листочков и прилистников, их опушенность служат характерным признаком отдельных видов и форм роз (рис. 4).

В это время в первичной коре корня можно наблюдать образование трещин, переходящих затем в продольные разрывы. Корень заметно утолщается, наблюдается увеличение прироста придаточных корней. В 1-й год к концу лета может сформироваться 4–7 (у некоторых видов и форм до 15) вегетативных побегов, обычно не ветвящихся, не плодоносящих и составляющих основу (скелет) куста.

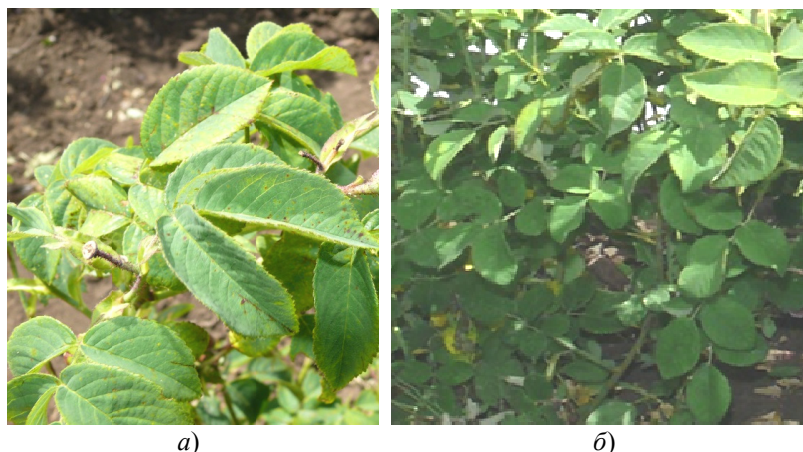


Рис. 4. Сложные непарноперистые листья
R. gallica Крымская Красная (а), *R. gybrida* Лань (б)

III этап органогенеза характеризуется образованием оси побега путем вытягивания конуса нарастания, сегментацией оси на междоузлия с листьями. На IV этапе органогенеза происходит дифференциация конусов нарастания, т.е. формирования вегетативных и генеративных почек, в которых происходит образование элементов околоцветника: чашелистиков и лепестков.

Виргинильное состояние начинается, как правило, после разворачивания на побегах 12-го листа и продолжается 1–2 месяца. Переход к этому состоянию отмечается во второй половине июля и характеризуется появлением черт, типичных для взрослых растений 1-го года жизни. Черешки листьев и стебли часто усажены шипами, возникающими как выросты эпидермы и подстилающих ее тканей [35]. Форма, расположение и размеры их являются важными таксономическими признаками (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика видов и форм розы (шиповника)
по некоторым морфобиологическим признакам

Название	Форма цинародия	Окраска цинародия	Шипова- тость, балл	Особенности шипов
1	2	3	4	5
<i>R. alba</i>	удлиненно- яйцевидная	красная	2	крючковидно изогнутые
<i>R. gybrida</i> Украина	удлиненно- яйцевидная, грушевидно- вытянутая	зеленовато- красная	2	крупные, редкие, загнутые вниз; на молодых побегах розовые, на многолетних – серые и светло-серые
<i>R. gybrida</i> Фестивальная	яйцевидная	оранжевая	2	различных размеров, большой частью довольно крупные, немногочисленные, загнутые вниз, розово- коричневого цвета на одно- летних и пепельно-серого цвета на многолетних побегах

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
<i>R. gallica</i> Крымская Красная	удлиненно- яйцевидная	коричнево- красный	2	крупные, слегка отогнутые книзу буроватые шипы
<i>R. gybrida</i> Радуга	яйцевидная	красная	2	разнотипные, серповидно изогнутые и мелкие игловидные
<i>R. gybrida</i> М-215	яйцевидная	красная	2	серповидно изогнутые
<i>R. gybrida</i> Лань	яйцевидная	красная	3	серповидно изогнутые
<i>R. gybrida</i> Мичуринка	удлиненно- яйцевидная	красная	3	разной величины, несколько отогнутые книзу; окраска на молодых побегах розово- коричневая, на старых – пепельно-серая
<i>R. gybrida</i> 7806	яйцевидная	красная	3	разнотипные, серповидно изогнутые и мелкие игловидные
<i>R. gybrida</i> Таврида	грушевидно- вытянутая	вишнево- красная	3	мелкие, у основания побегов широкие, слабо загнутые книзу, на молодых побегах – светло-розовые
<i>R. gybrida</i> Кавказская Красная	сплюснuto- шаровидная	красная	3	крючковидно изогнутые
<i>R. gybrida</i> Кооператорка	удлиненно- яйцевидная	красная	4	крючковидно изогнутые
<i>R. kasanlika</i>	грушевидно- вытянутая	вишнево- красная	4	разной величины, крючковидной формы
<i>R. gybrida</i> Весна	удлиненно- яйцевидная	красная	4	крючковидно изогнутые
<i>R. lutea</i>	шаровидная	кирпично- красная	4	прямые или слабо серповидно изогнутые, с примесью мелких игловидных шипиков
<i>R. centifolia</i> <i>f. muscosa</i>	шаровидная	красная	5	разнотипные, серповидно изогнутые и мелкие игловидные
<i>R. rugosa</i> Прима Красная	сплюснuto- шаровидная	ярко- красная	5	щетинистые
<i>R. rugosa</i>	сплюснuto- шаровидная	оранжевая	5	щетинистые
<i>R. cinnamomea</i>	шаровидная	оранжевая и ярко- красная	5	шипы прямые или серповидно изогнутые, расположенные парами
<i>R. canina</i>	яйцевидная	красная	5	однотипные, от серповидно до крючковидно изогнутых
<i>R. odessiana</i>	яйцевидная	красная	5	однотипные, от серповидно до крючковидно изогнутых

На следующий год, как правило, в марте происходит закладка генеративных почек в верхней и средней частях побега. Затем пробуждаются почки, из которых появляются укороченные цветоносы, несущие соцветия. Из нижних почек вырастают вегетативные побеги. У розы наблюдаются ежегодное отмирание и появление новых всасывающих корешков и корней. Корневая система эфиромасличных роз состоит из основных скелетных корней, проникающих глубоко в почву, разветвлений 1-го и 2-го порядков, а также мелких и мельчайших всасывающих корешков. При вегетативном размножении формируются только придаточные (адвентивные) корни. К концу 1-го года сеянцы розы развивают довольно мощную корневую систему [36].

На V этапе органогенеза формируются все структуры цветка. Он характеризуется закладкой органов мужской и женской генеративных сфер: тычинок и пестиков. Этот этап начинается в Крыму в конце марта – начале апреля и совпадает с наступлением фазы распускания листьев. Неблагоприятные условия, складывающиеся в период прохождения IV (закладка, формирование и образование зачаточных бугорков цветков) и V этапов органогенеза, вызывают резкое уменьшение количества цветков и ухудшение их качества, усыхание и опадение бутонов. На VI этапе органогенеза начинаются процессы формирования микро- и мегаспор.

Генеративный период характеризуется окончательным становлением габитуса растения и осуществлением репродуктивного цикла развития, связанного с органогенезом генеративных структур.

Раннее генеративное состояние, начинаясь в апреле-мае со 2-го года жизни растения, включает фазу бутонизации (см. рис. 2, 5), сопряженную с VII и VIII этапами органогенеза. VII и VIII этапы характеризуются ростом покровов в длину, завершением формирования всех органов цветка, пыльцевых зерен и зародышевых мешков в этот период.

Начало видимого роста цветоносных побегов, появления центрального бутона из обертки листьев отмечается на 45–60-й день от распускания первых листьев. Число боковых цветоносных побегов (рис. 6) колеблется в широких пределах: от 0 (*R. rugosa*) до 15 (*R. odessiana*, *R. gallica*, *R. rugosa*). Ветвление обычно идет до побегов 3–4 порядков [37]. Стебли побегов имеют характерную окраску и шипы, которые иногда отсутствуют на цветоносах.



Рис. 5. Соцветие (простой дихазий) *R. hybrida* Весна в фазе бутонизации



Рис. 6. Трехлетний куст *R. hybrida* Лань
с 7 цветоносными побегами

Одновременно с ростом цветоносных побегов происходит развитие соцветий, цветков и отдельных их элементов. В пыльниках и семязачатках начинается микро- и мегаспорогенез, в результате которого образуются тетрады микро- и мегаспор (табл. 3). Соответствующие стадии мегаспорогенеза протекают несколько позже, чем при микроспорогенезе. В частности, в то время, когда материнские клетки мегаспор претерпевают два последующих деления, микроспоры вступают в позднюю интерфазу.

Таблица 3

Соотношение фаз развития зародышевого мешка и пыльцы
у основных сортов эфиромасличной розы

Развитие пыльцевого зерна	Развитие зародышевого мешка	<i>R. gallica</i> Крымская Красная			<i>R. hybrida</i> Мичуринка		
		1	2	3	1	2	3
Материнские клетки микроспор	Материнские клетки мегаспор	4	21	6	4	20	9
Мейоз	Материнские клетки мегаспор	7	18	8	10	14	14
Микроспоры	Мейоз	10	15	13	12	12	19
Двуклеточная пыльца	Тетрады мегаспор	17	8	18	18	6	22
Генеративная клетка у стенки	Двухъядерный или четырехъядерный зародышевый мешок	20	5	20	20	4	24
Генеративная клетка мигрирует к центру	Восьмиядерный зародышевый мешок	22	3	22	22	2	26
Зрелая пыльца (накануне раскрытия пыльника)	Зрелый зародышевый мешок	24	1	23	24	0	27

Примечание. 1 – количество дней после начала бутонизации; 2 – количество дней до цветения; 3 – длина бутона, мм.

Процесс развития пыльцевых зерен и зародышевых мешков, начиная с образования материнских клеток микро- и мегаспор, продолжается у розы

в течение примерно 20 сут (рис. 7–9). Причем у различных форм эфиромасличной розы продолжительность стадий развития гаметофитов и длина бутона, соответствующая определенной стадии, несколько варьируют.

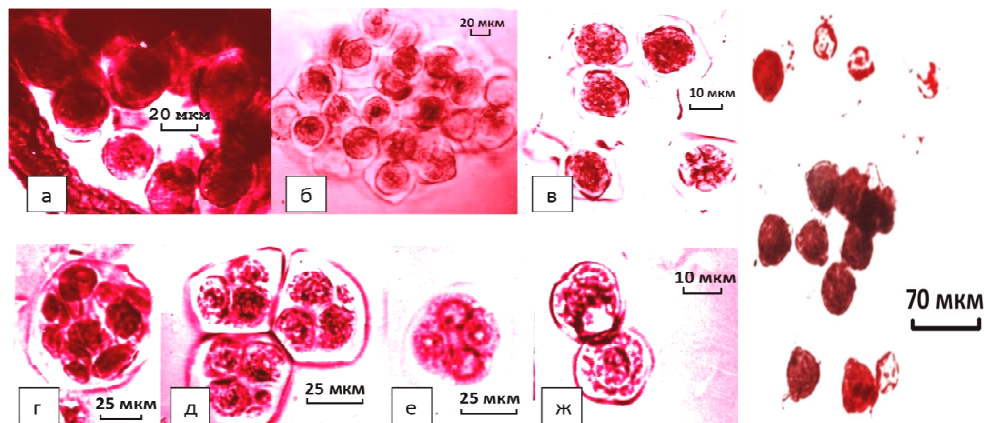


Рис. 7. Этапы развития пыльцевых зерен розы: слева – микроспорогенез (а – гнездо пыльника *R. canina* накануне мейоза; б – микроспороциты *R. canina* на стадии метафазы, телофазы; в – заложение перегородок, начало фрагментации микроспор *R. odessiana*; г – формирование полиады у *R. alba*; д – образовавшиеся тетрады микроспор *R. hybrida* Мичуринка; е – лизис каллозной оболочки у *R. hybrida* Крымская Красная; ж – молодые микроспоры *R. hybrida* Лань), справа – зрелые пыльцевые зерна *R. hybrida* Радуга накануне раскрытия цветка (окраска ацетокармином)

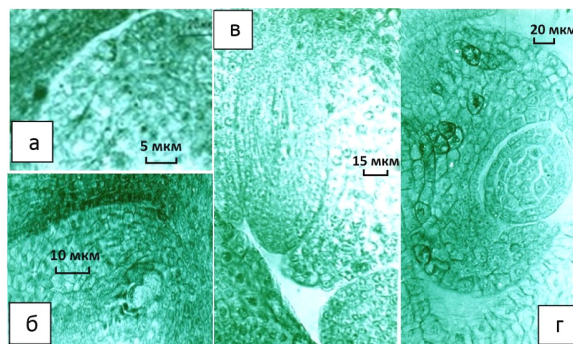


Рис. 8. Формирование семязачатка у розы; стадии мегаспорогенеза: а – тетрада мегаспор; б – двужерный и четырехжерный зародышевые мешки; в – семязачаток в продольном срезе; г – семязачаток в поперечном срезе (окраска лихтгрюном)

На VII и VIII этапах органогенеза, совпадающих с активным ростом стебля и боковых побегов, тычиночная нить удлиняется, пыльники увеличиваются в размерах и приобретают свойственную им окраску: от желтовато-сероватых и лимонно-желтых до ярко-желтых и оранжевых, в зависимости от генотипических особенностей вида или формы. Микроспоры, вышедшие из тетрад, претерпевают в течение 3–5 дней митотическое деление, образуя 2-клеточные пыльцевые зерна. Пыльца созревает за 3–5 дней до раскрытия цветка. Зрелые пыльцевые зерна двуклеточные, одиночные, округло-тре-

угольные, трехпоровые. В это же время на поверхности пестика становится хорошо заметным рыльце. Микропиллярная клетка тетрады мегаспор, расположенная в семязчатке, увеличивается в размере и преобразуется в материнскую клетку зародышевого мешка, которая в результате делений превращается в 2-4-ядерный зародышевый мешок. В процессе специализации зародышевый мешок становится 7-клеточным. В микропиллярной части формируется яйцевой аппарат, включающий яйцеклетку и две синергиды. В халазальной части образуются три клетки эфемерных антипод, иногда их количество увеличено. В центре зародышевого мешка располагаются полярные ядра, к моменту раскрытия цветка находящиеся на различных стадиях слияния в зависимости от генотипа коллекционного образца. Процессы формирования зрелых мужских и женских гаметофитов длятся 3–4 недели. Завершение формообразовательных процессов генеративной сферы совпадает с окончанием фазы бутонизации и наступлением фазы цветения.

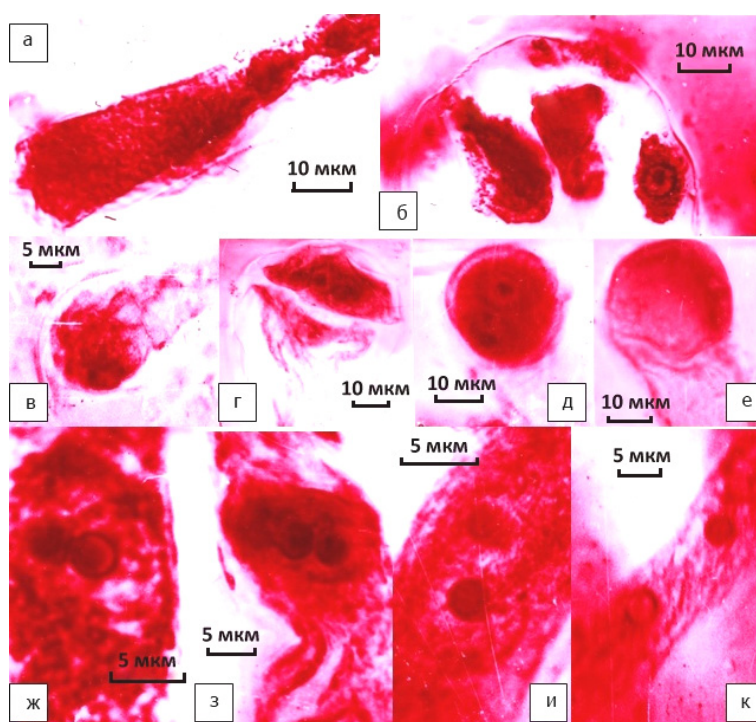


Рис. 9. Элементы зрелого зародышевого мешка розы:

- а* – антиподальная часть (*R. kasanlika*); *б* – яйцевой аппарат (*R. gybrida* Лань);
в, г, д, е – яйцевой аппарат в различных ракурсах (*R. kasanlika*);
ж, з, и, к – состояние полярных ядер к моменту раскрытия цветка
(*R. rugosa* Прима Красная, *R. alba*, *R. gybrida* Радуга, Н-1050)

Зрелое генеративное состояние характеризуется специфичной для видов и форм розы структурой цимонидных (закрытых, симподиальных, определенных, верхоцветных) соцветий (рис. 10). Зацветание у розы по каждой оси происходит сверху вниз, причем сначала цветки распускаются на главной оси, а затем на побегах 2-го и 3-го порядков.

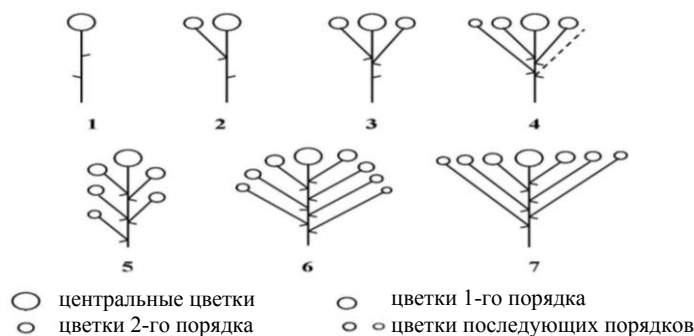


Рис. 10. Основные структурные типы цимовидных соцветий видов и форм эфиромасличной розы: 1 – редуцированный цимовид (*R. rugmaea*); 2 – простой монохазий (*R. majalis*); 3 – простой дихазий (*R. alba*); 4 – простой плейохазий (*R. kasanlika*); 5 – кистевидный плейохазий (*R. rugosa*); 6 – зонтиковидный плейохазий (*R. odessiana*); 7 – щитковидный плейохазий (*R. canina*)

Наибольшей интенсивности цветение достигает в конце 2-й недели. В среднем на кусте раскрывается от 300 до 950 цветков. Длительность цветения одного цветка 2–4 дня (рис. 11,а), а фазы цветения видов и форм эфиромасличной розы – 18–25 дней (рис. 11,б). Описанный процесс формирования и развития цветоносных побегов и цветков протекает одинаково у всех сортов, различия проявляются лишь в сроках начала и длительности органогенеза, что объясняется генотипическими особенностями и агрометеорологическими условиями [38–40].

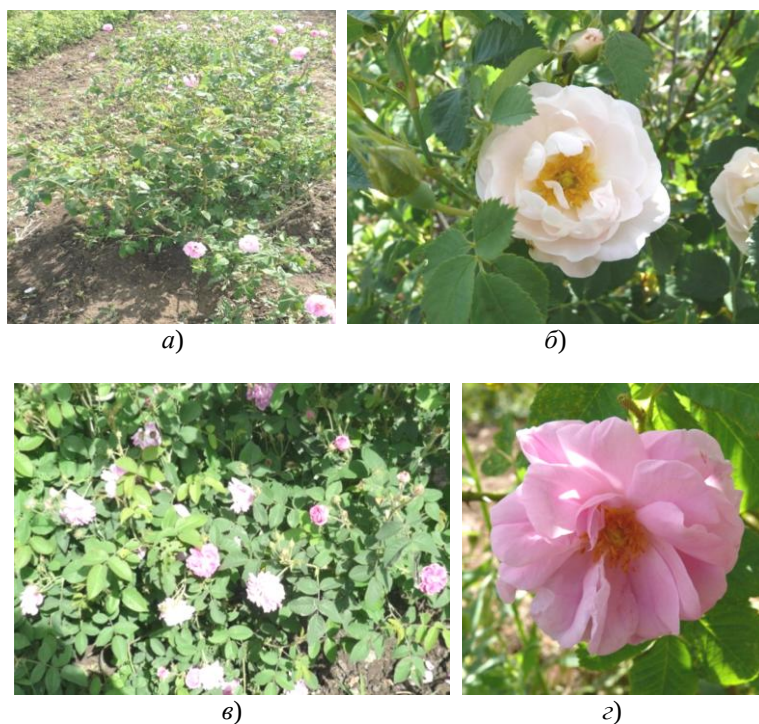


Рис. 11. Начало цветения 4-летнего куста *R. hybrida* Лань (а); полумахровые цветки *R. alba* (б); массовое цветение *R. gallica* (в); *R. hybrida* Кооператорка (г) в момент раскрытия

Сформированный цветок видов и форм эфиромасличной розы пятерного типа, правильный, обоеполый, имеет 5 чашелистиков и количество лепестков от 5 (простой цветок) до 156 (густомахровый цветок). Количество тычинок варьирует от 1–5 до 208, а количество пестиков от 18 до 164 [41, 42]. Семязачаток розы крапивоцеллюлятный. Для него характерны хорошо развитая многоклеточная гипостаза с утолщенными и одревесневающими оболочками клеток и фуникулярный obturator, прикрывающий микропиле (рис. 12). В завязи большинства сортов и видов эфиромасличной розы имеется, как правило, один семязачаток, реже – два: *R. gybrida* Весна, 7806, М-215, *R. odessiana*.

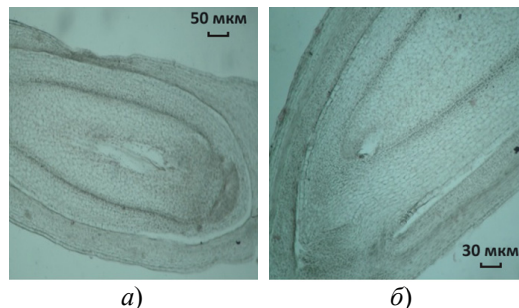


Рис. 12. Структуры женской генеративной сферы цветка розы: а – средняя и базальная части семязачатка с гипостазой и элементами зародышевого мешка, в частности, синергидами в халазальной части зрелого зародышевого мешка; б – микропиллярная часть зародышевого мешка и фуникулярный obturator, прикрывающий микропиле семязачатка

IX этап органогенеза сопряжен с цветением, во время которого осуществляются процессы опыления и оплодотворения. У розы наблюдаются перекрестное опыление (аллогамия), гейтеногамия (опыление в пределах одного растения), ксеногамия (опыление в пределах соцветия) и иногда автогамия (опыление в пределах цветка). Период оплодотворения и образования зиготы включает две фазы: прогамную и двойное оплодотворение и длится у розы 2–4 дня [43]. Прогамная фаза начинается прорастанием в течение часа попавших на рыльце пыльцевых зерен. Образующиеся пыльцевые трубки в последующие 3 ч внедряются в ткань рыльца и продолжают расти в центральной части столбика по проводниковой ткани. Через сутки пыльцевые трубки достигают завязи (рис. 13).

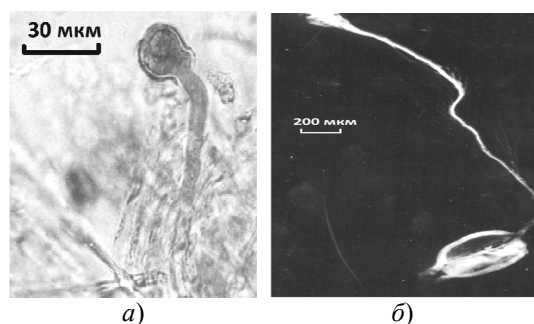


Рис. 13. Комбинация скрещивания *R. alba* x *R. gybrida* Мичуринка: а – прорастание на рыльце пестика морфологически нормального пыльцевого зерна, 4 ч после опыления (световая микроскопия); б – рост пыльцевых трубок по тканям пестика, проникновение их в семязачаток (люминесцентная микроскопия)

После их проникновения в семязачаток наступает вторая фаза – двойное оплодотворение путем объединения мужских и женских гамет. При слиянии одного спермия с яйцеклеткой формируется зигота; объединение второго спермия с центральной клеткой, образующейся из полярных ядер (тройное слияние), приводит к появлению первичной эндоспермальной клетки, ядро которой имеет триплоидный набор хромосом.

Позднее генеративное состояние характеризуется прохождением X–XII этапов органогенеза. Плодоношение начинается с 2–3-летнего возраста куста розы. Для вызревания семян в средней полосе России требуется до 4 месяцев со дня опыления [44].

Органогенез на X этапе связан с начальными процессами роста и развития зародыша, семени и плода, которые длятся около 30–50 дней. Цинародий в этот период имеет зеленую окраску. После оплодотворения сначала делится первичное эндоспермальное ядро и формируется по нуклеарному типу эндосперм для питания развивающегося зародыша. Зигота приступает к делению после образования первых ядер эндосперма. В результате многочисленных делений зародыш становится многоклеточным и последовательно принимает форму булавы, шара, сердца, торпеды. Семязачаток превращается в семя.

На XI этапе органогенеза происходит дальнейшее формирование зародыша и семени в течение 20–30 дней. Растущий зародыш в относительно короткое время формирует семядоли, затем – корешок с гипокотилем, немного позже – почечку, состоящую из двух примордиев и бугорка (апекс побега). Полное формирование зародыша заканчивается в период, когда семядоли заполняют всю полость семени. Следует отметить, что подвесок (суспензор) выражен хорошо и на поздних стадиях развития зародыша является мощным и коротким. Остатки нуцеллуса образуют пленчатую оболочку семени, а интегументы – семенную кожуру. Эндосперм сохраняется в виде очень тонкого слоя, прилегающего к семенной оболочке.

Цинародий приобретает бронзовую (бурую) окраску. В этот период завершается рост и развитие зародыша и наблюдаются активные процессы биосинтеза белка, крахмала и жира, которые откладываются в семядолях и принимают форму запасных питательных веществ. Белок откладывается в виде алейроновых зерен, крахмал – простых мелких зерен, жир – липидных глобул. Ферменты инактивируются. Заканчивается формирование плода-орешка, и происходит кутинизация его покровов, что приводит к прочной структуре «футляра» для семени с его тонкими оболочками [45–48]. Вполне развитый, типичный зародыш эфиромасличной розы состоит из двух семядолей, точки роста или почечки и корешка с корневым чехликом (рис. 14).

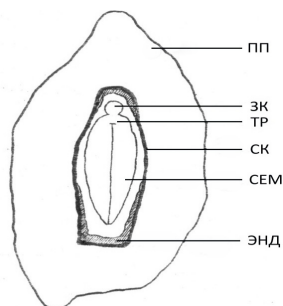


Рис. 14. Схематический разрез плодика-орешка розы со сформированным зародышем: пп – покровы плода; зк – зародышевый корешок; тр – точка роста; ск – семенная кожура; сем – семядоли; энд – эндосперм

При прохождении XII этапа органогенеза созревают плоды, в которых физиологически дозревают семена в течение 15–40 дней. Цинародии эфиромасличных роз становятся окрашенными в видо-, формоспецифичные цвета полной спелости: оранжевые, различные оттенки красного, вплоть до темно-бордовых (см. рис. 2, 15, табл. 2).



Рис. 15. Плодоносящий побег *R. canina*

Для XII этапа органогенеза характерны процессы окончательного превращения питательных веществ в запасные, перевод их в метаболически инертную форму. Данный процесс сопровождается снижением содержания воды в клетках семени и плода. Зрелые зародыши розы дифференцированные, прямые, с развитыми семядолями, крупные (5–7 мм). Изученные виды и формы розы являются лейкоэмбриофитами [49], т.е. имеют бесхлорофилльные зародыши. Зрелое семя покрыто тонкой гладкой кожурой от кремового до коричневого цвета. Поскольку процессы плодообразования и созревания плодов на растениях эфиромасличной розы растянуты во времени, что является следствием неодновременного прохождения цветения, основная масса плодов и семян достигает полной спелости и зрелости через 2,5–3 месяца после начала цветения, т.е. в августе (см. рис. 15, табл. 4).

Таблица 4

Морфометрическая характеристика цинародиев
изучаемых видов и форм розы (шиповника)

Название	Размеры: высота/ диаметр, см	Плодо- образование	Количество, штук/цветок (цинародий)			Масса, г
			орешков	семя- зачатков	морфологически нормальных ЗМ	
1	2	3	4	5	6	7
<i>R. gallica</i> Крымская Красная	1,4/1,0	очень слабое	2,1	19–35	12–25	0,77
<i>R. hybrida</i> Украина	1,8/1,3	очень слабое	4,4	24–28	1–4	1,21
<i>R. hybrida</i> Мичуринка	1,7/1,1	очень слабое	5,3	26–27	1–2	1,26
<i>R. canina</i>	1,8/1,3	обильное	29,0	25–33	17–24	1,30
<i>R. hybrida</i> Таврида	2,0/1,2	слабое	7,8	24–25	3–4	1,38
<i>R. odessiana</i>	1,9/1,4	хорошее	23,0	18–34	9–19	1,50
<i>R. hybrida</i> Фестивальная	1,9/1,3	среднее	5,1	32–33	2–10	1,80

1	2	3	4	5	6	7
<i>R. gybrida</i> Кавказская Красная	1,4/2,0	единичное	0,1	43–51	1–3	1,86
<i>R. gybrida</i> Кооператорка	2,3/1,3	обильное	12,8	32–39	2–10	1,93
<i>R. kazanlika</i>	2,7/1,3	среднее	2,9	28–36	8–9	2,06
<i>R. alba</i>	2,2/1,5	обильное	1,7	29–42	5–8	2,30
<i>R. gybrida</i> Весна	2,5/1,4	хорошее	4,1	33–42	14–15	2,61
<i>R. gybrida</i> М-215	2,1/1,6	среднее	3,5	33–36	1–6	2,67
<i>R. rugosa</i>	1,6/2,0	хорошее	27,0	52–82	12–37	3,06
<i>R. gybrida</i> 7806	1,7/1,1	очень слабое	1,7	23–28	3–7	3,60
<i>R. gybrida</i> Радуга	1,8/1,2	очень слабое	1,9	24–33	3–11	3,70
<i>R. gybrida</i> Лань	1,9/1,4	очень слабое	0,9	29–32	3–5	3,80
<i>R. cinnamomea</i>	2,6/2,5	обильное	25,0	36–40	16–21	4,27
<i>R. rugosa</i> Прима Красная	1,5/2,5	очень слабое	11,0	149–152	21–56	5,10

Примечание. ЗМ – зародышевый мешок.

Ко времени завершения генеративного периода часть стеблевых листьев отмирает, стебли побегов становятся твердыми деревянистыми, приобретают коричневатую окраску.

Постгенеративный период включает субсенильное и собственно сенильное состояния.

Субсенильное состояние сопровождается полным прекращением генеративной функции и резким торможением физиолого-биохимических процессов. Этот период у розы продолжается 1,5–3 недели. Листья меняют окраску из зеленых в желтовато-красноватые тона и отмирают, наступает листопад. Изучение корневой системы розы на средневозрастных плантациях показало, что скелетные корни распространяются от куста в радиусе 80–125 и углубляются на 20–60 см. С возрастом корни уходят еще глубже. Максимальное проникновение стержневых корней в глубину достигает 240 см [50]. Многолетняя жизнеспособность растений розы обусловлена наличием «спящих» почек, способных формировать генеративные побеги на следующий год от их закладки. Поэтому розу можно отнести к поликарпическим растениям [51].

Сенильное состояние характеризуется постепенным отмиранием подземных и надземных органов. Отдельные генеративные побеги отмирают через 6–7, вегетативные – через 4–5 лет. Отмирание корневой системы происходит от периферии к центру: сначала погибают боковые 1-го и 2-го порядков, затем – главный и придаточные корни. Естественная гибель растения розы происходит в 20–30-летнем возрасте, однако известны случаи, когда продолжительность жизни куста эфиромасличной розы составляла 80 и более лет в с. Шанов, Болгария [52].

Таким образом, все внутренние эмбриональные преобразования тесно взаимосвязаны с морфологическими изменениями в отдельном органе, побеге или растении в целом. Большинство этапов органогенеза приходится на периоды формирования цветка и генеративных органов, опыления и оплодо-

творения, развития зародыша и семени. В результате свойства будущего организма в значительной степени определяются характером прохождения данных этапов. Знание морфогенетических потенций розы позволяет успешно проводить интродукционную и генетико-селекционную работу, а также целенаправленно воздействовать на структуры растения для обеспечения широкой изменчивости полезных признаков [53].

Выводы

1. Установлено, что при семенном размножении общий ход онтогенеза розы включает латентный, прегенеративный, генеративный и постгенеративный периоды. В 1-й год вегетации роза проходит возрастные состояния проростка, ювенильное, имматурное и виргинильное. Особенность прегенеративного периода состоит в том, что под зиму уходят в имматурном возрастном состоянии до 90 % растений. На 2-й год жизни (и в последующем ежегодно) наблюдается прохождение виргинильного, раннего, зрелого и позднего генеративного и субсенильного состояний. Вегетативные побеги достигают сенильного возрастного состояния на 5-й год, генеративные побеги погибают на 6–7-й год. Естественная гибель растения (куста) розы, как правило, происходит в 20–30-летнем возрасте, а его жизнеспособность поддерживается за счет побегов возобновления.

2. Выявленная взаимосвязь возрастных состояний розы с фазами развития растения и этапами органогенеза дает возможность более объективно охарактеризовать интродуцентов, поскольку позволяет комплексно оценить ростовые показатели, генеративное развитие растений, определить величину их биологических возможностей и амплитуду пластичности в конкретных условиях среды, т.е. степень перспективности многолетних кустарников.

Список литературы

1. Семенова, Е. Ф. Репродуктивная биология видов и форм *Rosa* L. / Е. Ф. Семенова, Е. В. Преснякова, Т. П. Жужалова. – Воронеж : Изд-во ЦНТИ, 2014. – 136 с.
2. Топалов, В. Върху разнообразието в популацията от Казанлъшката маслодайна роза / В. Топалов // Сельскостопанска мисъл. – 1961. – № 12. – С. 727–734.
3. Топалов, В. Казанлъшката роза като таксономична единица / В. Топалов // Бюлетин за развитието на етерично-маслената и ароматна промишленост. – 1969. – № 2. – С. 16–24.
4. Топалов, В. Сърху генезата на Казанлъшката роза (*R. kazanlika* V.T.) / В. Топалов // Научни трудове / Висш. селскостоп. ин-т «Васил Коларов». – Пловдив, 1978. – Т. 23, кн. 1. – С. 27–34.
5. Клюка, В. И. Некоторые вопросы биологии полового воспроизведения у эфиромасличных роз / В. И. Клюка // Краткий отчет о науч.-исслед. работе за 1959–1960 гг. – Краснодар, 1962. – С. 88–90.
6. Стайков, В. М. Проучване биологията на цъфтенето, опрашването и оплождането на Казанлъшката роза (*Rosa damascena* Mill.) във връзка със селекцията / В. М. Стайков // Бюлетин за развитието на етерично-маслената промишленост. – 1965. – № 6. – С. 12–35.
7. Стайков, В. М. Эфиромасличная роза в Болгарии / В. М. Стайков // Междунар. сельскохозяйств. журн. – 1985. – № 6. – С. 106–107.
8. Гайдукова, Л. В. Особенности роста и развития некоторых сортов эфиромасличной розы / Л. В. Гайдукова // Науч. доклады высшей школы. Биол. науки. – 1967. – № 11. – С. 60–63.

9. **Димитров, С. Г.** Някои особености на формо- и видобразуването при хибридизацията на рода – *Rosa L.* / С. Г. Димитров // Научни трудове / Висш. селско-стоп. ин-т «Васил Коларов». – Пловдив, 1968. – Т. 17, кн. 1. – С. 169–179.
10. Морфофизиологические особенности развития жизненной формы кустарников (парковые розы) / А. И. Челядинова [и др.] // Экспериментальный морфогенез цветковых растений. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1972. – С. 208–236.
11. **Номеров, Б. А.** Влияние семядолей на рост и развитие сеянцев роз / Б. А. Номеров // Вестн. Моск. ун-та. Сер. биол. – 1972. – № 1. – С. 116–117.
12. **Номеров, Б. А.** Определение по семядолям некоторых особенностей гибридных сеянцев роз / Б. А. Номеров // Вестн. Моск. ун-та. Сер. биол. – 1974. – № 1. – С. 72–75.
13. **Раев, Р. Ц.** Морфологични и биологични изменения при узряването на семена на розите / Р. Ц. Раев // Физиология растений. – 1976. – Т. 2, кн. 1. – С. 93–101.
14. **Буткене, З. П.** Биологическая и биохимическая характеристика шиповника морщинистого. Биология плодоношения / З. П. Буткене // Тр. АН ЛитССР. Сер. В. – 1977. – Т. 1. – С. 21–25.
15. **Назаренко, Л. Г.** Изучение коллекции розы в условиях предгорья Крыма / Л. Г. Назаренко // Селекция и семеноводство. – 1975. – Вып. 29. – С. 38–42.
16. **Назаренко, Л. Г.** Особенности роста и развития основных сортов эфиромасличной розы / Л. Г. Назаренко // Тр. ВНИИ эфиромаслич. культур. – 1975. – Т. 8. – С. 3–12.
17. **Назаренко, Л. Г.** Роза эфиромасличная (история, биологические особенности и селекция) / Л. Г. Назаренко. – Киев : Наукова думка, 1978. – 200 с.
18. **Назаренко, Л. Г.** О развитии генеративных побегов эфиромасличной розы / Л. Г. Назаренко // Бюл. Гл. Ботан. сада. – 1982. – Вып. 126. – С. 62–63.
19. **Назаренко, Л. Г.** Способность сортов эфиромасличной розы образовывать цветonoсные побеги из дочерних почек / Л. Г. Назаренко // Селекция и семеноводство. – 1982. – Вып. 52. – С. 42–43.
20. **Власов, М. И.** Вариабельность некоторых морфологических признаков у розы эфиромасличной в различных условиях среды / М. И. Власов, В. С. Власова // Тр. ВНИИ эфиромаслич. культур. – 1982. – Т. 14. – С. 26–29.
21. **Демидов, Л. В.** Биологические особенности сортов эфиромасличной розы, используемых в ее селекции : автореф. дис. ... канд. с/х наук / Демидов Л. В. – М., 1983. – 23 с.
22. Культура эфиромасличной розы / Л. Г. Назаренко, Б. П. Миньков [и др.] ; под ред. Г. И. Мустяцэ, А. В. Мурина. – Кишинев : Штиинца, 1983. – 186 с.
23. **Былов, В. Н.** Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / В. Н. Былов, Р. А. Карписонова. – М. : Наука, 1975. – 27 с.
24. **Работнов, Т. А.** Изучение ценоотических популяций в целях выяснения «стратегии жизни» видов растений / Т. А. Работнов // Бюллетень МОИП, отдел. биол. – 1975. – Т. 80, вып. 2. – С. 5–17.
25. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / О. В. Смирнова [и др.]. – М. : Наука, 1976. – 217 с.
26. **Левина, Р. Е.** Репродуктивная биология семенных растений / Р. Е. Левина. – М. : Наука, 1981. – 96 с.
27. **Chandra, D. P.** Staining pollen tubes in the styles; cotton blue versus carmine for general use / D. P. Chandra, N. Anita // Stain technol. – 1967. – V. 42, № 2. – P. 81–85.
28. **Литвак, А. И.** Люминесцентная макро- и микроскопия в исследованиях плодовых культур и винограда / А. И. Литвак. – Кишинев : Штиинца, 1978. – 111 с.
29. **Паушева, З. П.** Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Агропромиздат, 1988. – 271 с.
30. **Андреева, И. И.** Практикум по анатомии и морфологии растений / И. И. Андреева, Л. С. Родман, А. В. Чичев. – М. : КолосС ; изд-во СтГАУ «АРГУС», 2005. – 156 с.

31. **Семенова, Е. Ф.** Исследование развития зародышевых мешков розы эфиромасличной с применением метода ферментативной мацерации / Е. Ф. Семенова, С. А. Резникова // Морфофункциональные аспекты развития женских генеративных структур семенных растений (материалы Всесоюзного симпозиума). – Телави, 1984. – С. 52.
32. **Семенова, Е. Ф.** Эмбриологические особенности розы эфиромасличной в связи с интенсификацией селекционного процесса : дис. ... канд. биол. наук / Семенова Е. Ф. – Симферополь : ВНИИЭМК, 1987. – 191 с.
33. **Шмидт, В. М.** Математические методы в ботанике / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.
34. **Платонов, А. Е.** Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы / А. Е. Платонов. – М. : Изд-во РАМН, 2000. – 52 с.
35. **Клименко, З. К.** Розы (интродуцированные и культивируемые на Украине). Каталог-справочник / З. К. Клименко, Е. Л. Рубцова. – Киев : Наукова думка, 1986. – 214 с.
36. **Николаева, М. Г.** Справочник по проращиванию покоящихся семян / М. Г. Николаева, М. В. Разумова, В. И. Гладкова. – Л. : Наука, 1985. – 347 с.
37. **Зорина, Е. К.** Биологические особенности выгоночных роз в защищенном грунте Южного Приморья : дис. ... канд. биол. наук / Зорина Е. К. – Владивосток : ДО РАН, Ботанический сад-институт, 2008. – 144 с.
38. **Савчук, Л. П.** Влияние агрометеорологических условий на урожайность розы эфиромасличной / Л. П. Савчук // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 1. – С. 77–81.
39. **Савчук, Л. П.** Агрометеорологические условия и плодообразование при искусственном скрещивании роз / Л. П. Савчук, Л. Г. Назаренко // Тр. ВНИИ эфиромаслич. культур. – 1984. – Т. 16. – С. 15–21.
40. **Назаренко, Л. Г.** Варьирование количества и качества цветков у розы эфиромасличной / Л. Г. Назаренко // Селекция и семеноводство. – 1985. – Вып. 58. – С. 56–59.
41. **Семенова, Е. Ф.** Особенности прогамной фазы оплодотворения видов и форм розы секций *Gallicae* Среп., *Cinnamomeae* Среп. и *Caninae* DC. (*Rosaceae*) / Е. Ф. Семенова, Е. В. Преснякова // Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень : матеріали II Міжнар. наук. конф. (Березоточа, 4–5 червня 2014 р.). – Лубни : Комунальне видавництво «Лубни», 2014. – С. 152–157.
42. **Семенова, Е. Ф.** Сравнительное исследование биологии опыления и оплодотворения видов и форм розы эфиромасличной / Е. Ф. Семенова, Е. В. Преснякова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2014. – № 2 (6). – С. 18–28.
43. **Семенова, Е. Ф.** Анатомо-морфологические особенности лепестков как эфироносных структур цветков представителей рода *Rosa* / Е. Ф. Семенова, Н. А. Меженная, Е. В. Преснякова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2014. – № 3 (7). – С. 5–17.
44. **Номеров, Б. А.** О всхожести роз разного географического происхождения / Б. А. Номеров // Вестн. Моск. ун-та. Сер. биол. – 1973. – № 4. – С. 79–81.
45. **Старикова, В. В.** Морфолого-анатомическая характеристика орешков некоторых видов *Rosa* / В. В. Старикова // Ботан. журн. – 1973. – Т. 58, № 6. – С. 893–898.
46. **Старикова, В. В.** Анатомо-морфологическая характеристика орешков *Rosa rugosa* в процессе их развития / В. В. Старикова // Ботан. журн. – 1975. – Т. 60, № 4. – С. 558–563.
47. **Старикова, В. В.** Морфолого-анатомическая характеристика орешков некоторых видов *Rosa* (сем. *Rosaceae*) / В. В. Старикова // Ботан. журн. – 1977. – Т. 62, № 10. – С. 1500–1504.

48. **Старикова, В. В.** Морфолого-анатомическая характеристика орешков некоторых видов *Rosa* (сем. *Rosaceae*) / В. В. Старикова // Ботан. журн. – 1983. – Т. 68, № 4. – С. 522–528.
49. **Яковлев, М. С.** Покрытосеменные растения с зеленым и бесцветным зародышем (хлоро- и лейкоэмбриофиты) / М. С. Яковлев, Г. Я. Жукова. – Л. : Наука, 1973. – 101 с.
50. **Миньков, Б. П.** Влияние минеральных удобрений на развитие корневой системы эфиромасличной розы / Б. П. Миньков // Тр. ВНИИ эфиромаслич. культур. – 1972. – Т. 5. – С. 56–62.
51. **Куперман, Ф. М.** Морфология растений / Ф. М. Куперман. – М. : Высш. шк., 1984. – 240 с.
52. ИСХК (Институт сельского хозяйства Крыма): Роза эфиромасличная (*Rosa L.*). – URL: web-admin: sprasolov@mail.ru (19.12.2013).
53. **Семенова, Е. Ф.** К вопросу интродукции эфиромасличных растений в Среднем Поволжье / Е. Ф. Семенова // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования : тез. докл. I Междунар. симп. – Пушкино, 1995. – С. 347–348.

References

1. Semenova E. F., Presnyakova E. V., Zhuzhzhhalova T. P. *Reproduktivnaya biologiya vidov i form Rosa L.* [Reproductive biology of Rose L. types and forms]. Voronezh: Izd-vo TsNTI, 2014, 136 p.
2. Topalov V. *Sel'skostopanska mis'l* [Agricultural thought]. 1961, no. 12, pp. 727–734.
3. Topalov V. *Byuletin za razvitiето na eterichno-maslenata i aromatna promishlenosti* [Bulletin of development of essential oils and aromatic industry]. 1969, no. 2, pp. 16–24.
4. Topalov V. *Nauchni trudove* [Scientific works]. Vissh. sel'skostop. in-t «Vasil Kolarov». Plovdiv, 1978, vol. 23, bk. 1, pp. 27–34.
5. Klyuka V. I. *Kratkiy otchet o nauch.-issled. rabote za 1959–1960 gg.* [Brief report on research work in 1959–1960]. Krasnodar, 1962, pp. 88–90.
6. Staykov V. M. *Byuletin za razvitneto na eterichno-maslenata promishlenost* [Bulletin of development of essential oil industry]. 1965, no. 6, pp. 12–35.
7. Staykov V. M. *Mezhdunar. sel'skokhoz. zhurn.* [International agricultural journal]. 1985, no. 6, pp. 106–107.
8. Gaydukova L. V. *Nauch. doklady vysshey shkoly. Biolog. nauki* [University research reports. Biological sciences]. 1967, no. 11, pp. 60–63.
9. Dimitrov S. G. *Nauchni trudove* [Scientific works]. Vissh. sel'skostop. in-t «Vasil Kolarov». Plovdiv, 1968, vol. 17, bk. 1, pp. 169–179.
10. Chelyadinova A. I. et al. *Ekspperimental'nyy morfogenez tsvetkovykh rasteniy* [Experimental morphogenesis of flowering plants]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1972, pp. 208–236.
11. Nomerov B. A. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. biolog.* [Bulletin of Moscow University. Biological series]. 1972, no. 1, pp. 116–117.
12. Nomerov B. A. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. biolog.* [Bulletin of Moscow University. Biological series]. 1974, no. 1, pp. 72–75.
13. Raev R. Ts. *Fiziologiya rasteniy* [Physiology of plants]. 1976, vol. 2, bk. 1, pp. 93–101.
14. Butkene Z. P. *Tr. AN LitSSR. Ser. V* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR. Series V]. 1977, vol. 1, pp. 21–25.
15. Nazarenko L. G. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed farming]. 1975, iss. 29, pp. 38–42.
16. Nazarenko L. G. *Tr. VNIИ efiromaslich. kul'tur* [Proceedings of the Research Institute of essential oil cultures]. 1975, vol. 8, pp. 3–12.
17. Nazarenko L. G. *Roza efiromaslichnaya (istoriya, biologicheskie osobennosti i selektsiya)* [The essential oil rose (history, biological features and breedings)]. Kiev: Naukova dumka, 1978, 200 p.

18. Nazarenko L. G. *Byul. Gl. Botan. sada* [Bulletin of the Main botanic garden]. 1982, iss. 126, pp. 62–63.
19. Nazarenko L. G. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breedings and seed farming]. 1982, iss. 52, pp. 42–43.
20. Vlasov M. I., Vlasova V. S. *Tr. VNI efiromaslich. kul'tur* [Proceedings of the Research Institute of essential oil cultures]. 1982, vol. 14, pp. 26–29.
21. Demidov L. V. *Biologicheskie osobennosti sortov efiromaslichnoy rozy, ispol'zuemykh v ee selektsii: avtoref. dis. kand. s/kh nauk* [Biological features of the essential oil rose used for breeding thereof: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of agricultural sciences]. Moscow, 1983, 23 p.
22. Nazarenko L. G., Min'kov B. P. et al. *Kul'tura efiromaslichnoy rozy* [Essential oil rose rose culture]. Kishinev: Shtiintsa, 1983, 186 p.
23. Bylov V. N., Karpisonova R. A. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR* [Phenological observation technique in botanic gardens of USSR]. Moscow: Nauka, 1975, 27 p.
24. Rabotnov T. A. *Byulleten' MOIP, otdel. biol.* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, biological division]. 1975, vol. 80, iss. 2, pp. 5–17.
25. Smirnova O. V. et al. *Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Coenopopulations of plants (basic concepts and structure)]. Moscow: Nauka, 1976, 217 p.
26. Levina R. E. *Reproduktivnaya biologiya semennykh rasteniy* [Reproductive biology of spermatophytes]. Moscow: Nauka, 1981, 96 p.
27. Chandra D. P., Anita N. *Stain technol.* 1967, vol. 42, no. 2, pp. 81–85.
28. Litvak A. I. *Lyuminestsentnaya makro- i mikroskopiya v issledovaniyakh plodovykh kul'tur i vinograda* [Fluorescence macro- and microscopy in research of orchards and vines]. Kishinev: Shtiintsa, 1978, 111 p.
29. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Tutorial on plant cytology]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 271 p.
30. Andreeva I. I., Rodman L. S., Chichev A. V. *Praktikum po anatomii i morfologii rasteniy* [Tutorial on plant anatomy and morphology]. Moscow: KolosS; izd-vo StGAU «ARGUS», 2005, 156 p.
31. Semenova E. F., Reznikova S. A. *Morfofunktsional'nye aspekty razvitiya zhenskikh generativnykh struktur semennykh rasteniy (materialy Vsesoyuznogo simpoziuma)* [Morphofunctional aspects of development of pestillate generative structures of spermatophytes (proceedings of the All-USSR symposium)]. Telavi, 1984, p. 52.
32. Semenova E. F. *Embriologicheskie osobennosti rozy efiromaslichnoy v svyazi s intensifikatsiyey selektsionnogo protsessa: dis. kand. biol. nauk* [Embryological features of the essential oil rose in connection with breeding intensification: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Simferopol: VNIEMK, 1987, 191 p.
33. Shmidt V. M. *Matematicheskie metody v botanike* [Mathematical methods in botany]. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta, 1984, 288 p.
34. Platonov A. E. *Statisticheskii analiz v meditsine i biologii: zadachi, terminologiya, logika, komp'yuternye metody* [Statistical analysis in medicine and biology: objectives, terminology, logic, computer methods]. Moscow: Izd-vo RAMN, 2000, 52 p.
35. Klimenko Z. K., Rubtsova E. L. *Rozy (introdutsirovannye i kul'tiviruemye na Ukraine). Katalog-spravochnik* [Roses (introduced and cultivated in Ukraine). Reference catalogue]. Kiev: Naukova dumka, 1986, 214 p.
36. Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. I. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Reference book on sprouting of dormant seeds]. Leningrad: Nauka, 1985, 347 p.
37. Zorina E. K. *Biologicheskie osobennosti vygonochnykh roz v zashchishchennom grunte Yuzhnogo Primor'ya: dis. kand. biol. nauk* [Biological features of forcing roses in sheltered soil in South Primorye territory: dissertation to apply for the degree of the candi-

- date of biological sciences]. Vladivostok: DO RAN, Botanicheskiy sad-institut, 2008, 144 p.
38. Savchuk L. P. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology]. 1974, no. 1, pp. 77–81.
39. Savchuk L. P., Nazarenko L. G. *Tr. VNII efiromaslich. kul'tur* [Proceedings of the Research Institute of essential oil cultures]. 1984, vol. 16, pp. 15–21.
40. Nazarenko L. G. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed farming]. 1985, iss. 58, pp. 56–59.
41. Semenova E. F., Presnyakova E. V. *Likars'ki roslini: traditsii ta perspektivi doslidzhen': materialy II Mizhnar. nauk. konf. (Berezotocha, 4–5 chervnya 2014 r.)* [Medicinal plants: traditions and prospects of research: proceedings of II International scientific conference (Berezotocha, 4–5 June 2014)]. Lubni: Komunal'ne vidavnistvo «Lubni», 2014, pp. 152–157.
42. Semenova E. F., Presnyakova E. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2014, no. 2 (6), pp. 18–28.
43. Semenova E. F., Mezhenyaya N. A., Presnyakova E. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2014, no. 3 (7), pp. 5–17.
44. Nomerov B. A. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. biolog.* [Bulletin of Moscow University. Biological series]. 1973, no. 4, pp. 79–81.
45. Starikova V. V. *Botan. zhurn.* [Botanic journal]. 1973, vol. 58, no. 6, pp. 893–898.
46. Starikova V. V. *Botan. zhurn.* [Botanic journal]. 1975, vol. 60, no. 4, pp. 558–563.
47. Starikova V. V. *Botan. zhurn.* [Botanic journal]. 1977, vol. 62, no. 10, pp. 1500–1504.
48. Starikova V. V. *Botan. zhurn.* [Botanic journal]. 1983, vol. 68, no. 4, pp. 522–528.
49. Yakovlev M. S., Zhukova G. Ya. *Pokrytosemennye rasteniya s zelenym i bestsvetnym zarodyshem (khloro- i leykoembriofity)* [Metasperms with green and colorless embryo (chloro- and leukoembryophytes)]. Leningrad: Nauka, 1973, 101 p.
50. Min'kov B. P. *Tr. VNII efiromaslich. kul'tur* [Proceedings of the Research Institute of essential oil cultures]. 1972, vol. 5, pp. 56–62.
51. Kuperman F. M. *Morfologiya rasteniy* [Plant morphology]. Moscow: Vyssh. shk., 1984, 240 p.
52. ISKhK (Institut sel'skogo khozyaystva Kryma): *Roza efiromaslichnaya (Rosa L.)* [Crimea Institute of Agriculture: The essential oil rose (Rose L.)]. Available at: web-admin: sprasolov@mail.ru (19.12.2013).
53. Semenova E. F. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh prakticheskogo ispol'zovaniya: tez. dokl. I Mezhdunar. simp.* [New and non-traditional plants and prospects of practical application thereof: report theses of I International symposium]. Pushchino, 1995, pp. 347–348.

Жужжалова Татьяна Петровна

заслуженный деятель науки РФ, доктор биологических наук, профессор, заведующая отделом генетики и биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А. Л. Мазлумова (Россия, Воронежская область, Рамонь, 86)

E-mail: biotechnologiya@mail.ru

Zhuzhzhlova Tatiana Petrovna

Honored scientist of Russia, doctor of biological sciences, professor, head of sub-department of genetics and biotechnology, A. L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar (86, Ramonsky district, Voronezh region, Russia)

Семенова Елена Федоровна

кандидат биологических наук,
профессор, старший научный
сотрудник, кафедра общей
и клинической фармакологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: sef1957@mail.ru

Semenova Elena Fedorovna

Candidate of biological sciences, professor,
senior staff scientist, sub-department
of general and clinical pharmacology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Преснякова Елена Викторовна

кандидат биологических наук, главный
специалист, Госкомиссия РФ по охране
и испытанию селекционных достижений
(Россия, г. Москва, Орликов переулок,
1/11)

E-mail: spl8@mail.ru

Presnyakova Elena Viktorovna

Candidate of biological sciences, chief
expert, State Commission of the Russian
Federation for Selection Achievements
Testing and Protection
(1/11 Orlikov lane, Moscow, Russia)

УДК 582.734.4:58.01:581.4

Жужжалова, Т. П.

**Возрастные изменения растений эфиромасличной розы в онтогене-
зе** / Т. П. Жужжалова, Е. Ф. Семенова, Е. В. Преснякова // Известия высших
учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. –
№ 1 (9). – С. 3–29.

**ВЛИЯНИЕ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ НА МИКРООРГАНИЗМЫ
РАЗЛИЧНОЙ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ
В СРАВНЕНИИ С СОВРЕМЕННЫМИ АНТИБИОТИКАМИ.
СООБЩЕНИЕ III. ДЕЙСТВИЕ МАСЕЛ ЛАВАНДЫ,
РОЗОВОГО ДЕРЕВА, ЭВКАЛИПТА, ПИХТЫ
НА НЕКОТОРЫЕ ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ**

Аннотация.

Актуальность и цели. В последние десятилетия в связи с растущим уровнем резистентности микроорганизмов к антибиотикам эфирные масла растений и их компоненты представляют интерес с точки зрения антимикробной активности и использования в качестве альтернативного или комбинированного лечения инфекций у человека. Целью исследования является изучение антибактериальных эффектов эфирных масел лаванды, розового дерева, эвкалипта, пихты в сравнении с антибиотиками на некоторые грамотрицательные бактерии.

Материалы и методы. Объектами изучения служили четыре вида условно-патогенных грамотрицательных бактерий. Определение чувствительности к пяти образцам эфирного масла проводилось диско-диффузионным методом.

Результаты. Проведенная сравнительная оценка показала бактерицидный и бактериостатический характер действия эфирных масел *Lavandula latifolia* Medik. (*L. spica* DC.), *Aniba rosaeodora* Ducke, *Eucalyptus viminalis* Labill., *E. globulus* Labill., *Abies sibirica* Ledeb. на тестируемые госпитальные штаммы.

Выводы. Выявлено антибактериальное действие эфирных масел с определенным компонентным составом на изоляты *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, выраженное в различной степени.

Ключевые слова: *Lavandula latifolia* Medik. (*L. spica* DC.), *Aniba rosaeodora* Ducke, *Eucalyptus viminalis* Labill., *E. globulus* Labill., *Abies sibirica* Ledeb., эфирное масло, условно-патогенные грамотрицательные микроорганизмы, антибактериальные эффекты.

Е. В. Zhuchenko, Е. Ф. Semenova, N. N. Markelova,
А. И. Shpichka, А. А. Knyaz'kova

**INFLUENCE OF ESSENTIAL OILS ON MICROORGANISMS
BELONGING TO DIFFERENT TAXONS IN COMPARISON
WITH MODERN ANTIBIOTICS. REPORT III. EFFECTS
OF ESSENTIAL OILS OF LAVENDER, ROSEWOODTREE,
EUCALYPTUS, FIR ON SOME GRAM-NEGATIVE BACTERIA**

Abstract.

Background. In recent years medicinal plants and vegetable extracts have become more interesting because of their antibacterial activity. The carried out researches have shown an existing potential of essential oils usage to treat infectious human diseases. The aim of this study was to investigate antibacterial effects of es-

essential oils of lavender, rosewoodtree, eucalyptus, fir on some Gram-negative bacteria in comparison with antibiotics.

Materials and methods. The 4 species of the opportunistic Gram-negative bacteria were studied. The antibiotic susceptibility to 5 samples of the essential oils was determined by the disk-diffusion method.

Results. The comparative estimation has revealed the bactericidal and bacteriostatic actions of the essential oils of *Lavandula latifolia* Medik. (*L. spica* DC.), *Aniba rosaeodora* Ducke, *Eucalyptus viminalis* Labill., *E. globulus* Labill., *Abies sibirica* Ledeb. on the tested hospital strains.

Conclusions. The antibacterial action of the essential oils with the certain component compositions on *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumonia* isolates has been shown and has different levels.

Key words: *Lavandula latifolia* Medik. (*L. spica* DC.), *Eucalyptus viminalis* Labill., *E. globules* Labill., *Abies sibirica* Ledeb., essential oil, opportunistic Gram-negative bacteria, antibacterial effects.

Введение

В последние десятилетия лекарственные растения и их компоненты представляют интерес с точки зрения антимикробного действия. Установлено, что многие эфирные масла проявляют биологическую активность в отношении патогенных агентов [1–3], в качестве основного средства борьбы с которыми используют в настоящее время антибиотики. Антибиотик – вещество биогенного (микробного, животного или растительного) происхождения, способное подавлять рост определенных микроорганизмов или вызывать их гибель [4]. Из-за широкого применения антибиотикотерапии растет число возбудителей внутрибольничных инфекций с множественной устойчивостью.

В связи с этим цель данного исследования – изучение антибактериальных эффектов эфирных масел лаванды, розового дерева, эвкалипта, пихты в сравнении с антибиотиками на некоторые грамотрицательные бактерии.

Материалы и методы

Объектами тестирования служили четыре госпитальных штамма условно-патогенных грамотрицательных бактерий: *Stenotrophomonas maltophilia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, устойчивых ко многим антибиотикам и наиболее распространенных в отделениях реанимационных отделений [5, 6]. Выделение культур осуществляли традиционными методами на простых питательных средах с последующим определением морфологических и культуральных признаков [7]. Биохимическая идентификация бактерий проводилась с использованием тест-систем производства BioMerieux.

В исследование были включены эфирные масла: эвкалипта образец № 1 (ЭМ Э обр. 1) и образец № 2 (ЭМ Э обр. 2), лаванды (ЭМ Л), пихты (ЭМ П), розового дерева (ЭМ РД) с содержанием действующих веществ 10–100 мкг/диск. Образец № 1 эвкалиптового масла включал цинеол – эвкалиптол (до 80,0 %), бициклические монотерпены – D-альфа-пинен, D-миртениол, D-пинокарвон, трициклические сесквитерпены – глобулон, алифатические альдегиды – изовалериановый, капроновый, каприловый. У образца № 2 эвкалиптового масла содержание цинеола – эвкалиптола было снижено до 60,0 %, остальные ком-

поненты соответствовали образцу № 1. Основной составной частью эфирного масла лаванды являются сложные эфиры линалоола и кислот: уксусной (линалоилацетат), масляной, валериановой и капроновой, свободный линалоол (20,0–35,0 %), сопутствующие компоненты – гераниол, цитраль, борнеол, этилмилкетон, амиловый спирт, альфа-пинен, альфа-фелландрен, карифиллены, бисаболен, цедрен. Эфирное масло пихты содержит борнилацетат (30–60 %) и свободный борнеол, бициклические монотерпены: камфен (10,0 %), альфа-пинен (10,0 %), бета-пинен, сантен, моноциклические сесквитерпены – бисаболен, моноциклические монотерпены – дипентен, фелландрен. В состав эфирного масла розового дерева входят следующие компоненты: линалоол (около 85,0 %), 1,8-цинеол (6,0–8,0 %), альфа-терпинеол (1,0–3,0 %), альфа- и бета-пинен, лимонен, линалоолфураноксид, линалоолпираноксид, оцименол, терпинен-4-ол, нерол, гераниол, альфа-кубебен, бета-элемен, альфа-гурьонен, эвдесма-4(14),11-диен, альфа-селинен, кадинен, неролидол, спатуленол, кариофилленоксид, глобулол, кадинол, эвдесмадиенол, эвдесма-7(11)-ен-4-ол, бензилбензоат, цитраль, гераниол, нерол, неролидол, дипентен, метилгептенон, метилгептенон, изовалериановый альдегид [8, 9].

Подбор антибиотиков проводился в соответствии с рекомендациями *European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST)* [10] и *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)* [11] для каждого вида бактерий. Использовались коммерческие диски производства OXOID: левофлоксацин 5 мкг, триметоприм/сульфаметоксазол 25 мкг, хлорамфеникол 30 мкг, цефтазидим 10 мкг, меропенем 10 мкг, ципрофлоксацин 5 мкг, азтреонам 30 мкг, амикацин 30 мкг, имипенем 10 мкг, нетилмицин 10 мкг, эртапенем 10 мкг, цефепим 30 мкг, тикарциллин/клавуланат 85 мкг, тигециклин 15 мкг, эртапенем 10 мкг.

Определение чувствительности к антибиотикам и эфирным маслам проводилось диско-диффузионным методом (диаметр диска 6 мм) на агаре Мюллера – Хинтона (повторность 5...20-кратная). Инокулюм бактерий соответствовал 0,5 ед. мутности по Мак-Фарланду. Режим культивирования: 35 ± 1 °C; 18 ± 2 ч. Экспериментальный материал был обработан статистически с применением пакета Statistica [10].

Результаты и обсуждение

Проведенный сравнительный анализ антибактериальных эффектов эфирных масел на тестируемые госпитальные штаммы показал бактерицидный и бактериостатический характер их действия. Полученные данные по активности изучаемых субстанций в отношении *Stenotrophomonas maltophilia* представлены в табл. 1.

ЭМ П и ЭМ Э (обр. 1) проявили бактерицидное действие в четырех случаях из девяти (44,4 %), бактериостатическое – в трех из девяти (33,3 %), отсутствие эффекта наблюдалось в 22,2 % (два из девяти) случаев. ЭМ Э (обр. 2) оказало бактерицидное действие в 44,4 % (четыре из девяти), бактериостатическое – 55,5 % (пять из девяти) случаев. В 44,4 % случаев наблюдали бактерицидное действие ЭМ Л, бактериостатическое – в 22,2 % (два из девяти), отсутствие эффекта – в трех из девяти случаев (33,3 %). Для ЭМ РД было характерно бактерицидное действие в 38,5 %, бактериостатическое – в 46,2 %, резистентность и отсутствие эффекта – в 7,7 % случаев.

Таблица 1

Антибактериальная активность эфирных масел и антибиотиков
в отношении *Stenotrophomonas maltophilia*

Название субстанции или их сочетание	Зона задержки роста, мм		Коэффициент вариации, %
	lim	X + Sx	
Хлорамфеникол (С)	10,0	10,0 + 0,0	0,0
Триметоприм/сульфаметоксазол (SXT)	13,0...24,0	17,0 + 3,6	21,3
Тигециклин (TGC)	20,0...27,0	24,0 + 2,6	10,7
Левифлоксацин (LEV)	17,0...25,0	19,5 + 2,5	12,6
Тикарциллин/клавуланат (TIM)	6,0...19,0	12,6 + 4,8	37,8
ЭМ П	6,0...9,0	9,3 + 2,4	25,6
ЭМ Эобр. 2	7,0...15,0	9,0 + 2,8	30,6
ЭМ Эобр. 1	6,0...19,0	8,3 + 3,2	39,1
ЭМ Л	7,0...12,0	8,0 + 1,5	18,2
ЭМ РД	6,0...25,0	10,9 + 4,5	41,6
ЭМ Эобр. 1 + С	8,0...13,0	10,0 + 2,2	21,6
ЭМ Л + С	10,0	10,0 + 0,0	0,0
ЭМ Эобр. 1 + SXT	15,0...17,0	16,0 + 1,0	6,3
ЭМ Л + SXT	9,0...10,0	9,3 + 0,5	5,1
ЭМ Эобр. 1 + TGC	18,0...19,0	18,3 + 0,5	2,7
ЭМ Л + TGC	17,0	17,0 + 0,0	0,0
ЭМ РД + TGC	20,0	20,0 + 0,0	0,0
ЭМ Эобр. 1 + LEV	8,0...20,0	15,0 + 5,1	33,9
ЭМ Л + LEV	17,0...27,0	20,7 + 4,5	21,5
ЭМ РД + LEV	21,0	21,0 + 0,0	0,0
ЭМ Эобр. 1 + TIM	10,0...11,0	10,3 + 0,5	4,6
ЭМ Л + TIM	10,0	10,0 + 0,0	0,0
ЭМ РД + TIM	18,0...19,0	18,5 + 0,5	2,7

Взаимодействие левифлоксацина с ЭМ РД и лаванды привело к усилению антибактериального эффекта против *S. maltophilia* на 7,1 и 5,8 % соответственно; сочетание ЭМ РД + TIM на 31,9 % увеличило зону ингибирования культуры антибиотиком. Масла РД, Л и Э способствовали снижению активности хлорамфеникола, триметоприма/сульфаметоксазола, левифлоксацина, тигециклина, а масла лаванды и эвкалипта – тикарциллина/клавуланата в тесте с двойными дисками (рис. 1).

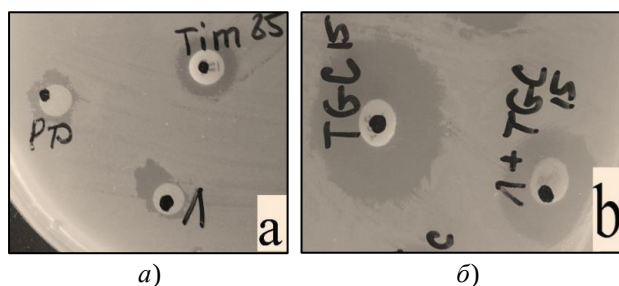


Рис. 1. Чувствительность *S. maltophilia*: а – к эфирным маслам розового дерева (РД), лаванды (Л) и антибиотику тикарциллину/клавуланату (TIM 85); б – к антибиотику тигециклину (TGC15) и сочетанию эфирное масло лаванды + тигециклин (Л + TGC15)

Определение действия эфирных масел на *Pseudomonas aeruginosa* показало различные эффекты: бактерицидный – ЭМ Э (обр. 2) наблюдали в 22,2 % случаев, бактериостатический – в 33,3 %, устойчивость – в 55,6 % определений. У ЭМ эвкалипта (обр. 1) соответствующие антимикробное действие, а также резистентность к нему изолята проявились в равных частотах встречаемости (по 33,3 % случаев). Для ЭМ Л наблюдали бактерицидный эффект в 22,2 %, бактериостатический – в 55,5 % случаев. ЭМ РД характеризовалось бактерицидностью (37,5 %) либо визуальной устойчивостью тест-культуры (62,5 %). Для ЭМ П частота встречаемости бактерицидного эффекта составила 22,2 %, бактериостатического – 11,1 %, в остальных случаях антимикробная активность отсутствовала.

По сравнению с зонами подавления роста культуры антибиотиками средние значения зон действия эфирных масел были меньше (табл. 2). Слабым антибактериальным действием (80,0 %) характеризовался ципрофлоксацин, у цефтазида и амикацина наблюдалась большая вариабельность степени выраженности эффектов в отношении возбудителя нозокомиальных инфекций (рис. 2). Усиление антибактериальной активности было выявлено при действии сочетания меропенема и эфирных масел РД, Л, Э (обр. 1) на *P. aeruginosa*, а также в паре CAZ + РД. Ципрофлоксацин, амикацин и азтреонам под влиянием масел РД, Л, Э уменьшали зоны ингибирования культуры.

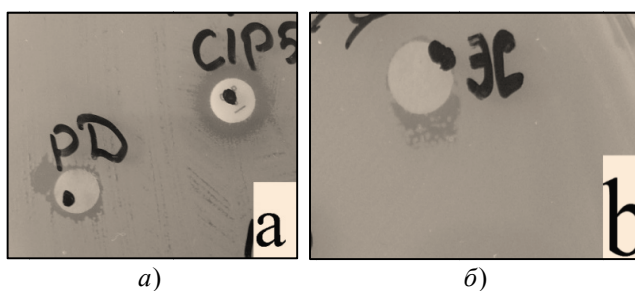


Рис. 2. Чувствительность *P. aeruginosa*: а – к эфирному маслу розового дерева (РД) и антибиотику ципрофлоксацину (CIP); б – к эфирному маслу эвкалипта обр. 2 (ЭС)

Статистические результаты исследования активности эфирных масел, применяемых антибиотиков и их композиций против *Pseudomonas aeruginosa* представлены в табл. 2.

Таблица 2

Антибактериальная активность эфирных масел и антибиотиков
в отношении *Pseudomonas aeruginosa*

Название субстанции или их сочетание	Зона задержки роста, мм		Коэффициент вариации, %
	lim	$X \pm Sx$	
1	2	3	4
Ципрофлоксацин (CIP)	8,0...11,0	$9,2 \pm 1,2$	13,0
Цефтазидим (CAZ)	9,5...15,0	$12,8 \pm 1,9$	24,3
Меропенем (MEM)	6,0...17,0	$10,4 \pm 4,1$	0,4

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Амикацин (АК)	11,0...21,0	$18,2 \pm 3,7$	20,3
Азтреонам (АТМ)	21,0...24,0	$22,3 \pm 1,1$	4,9
ЭМ Э обр. 2	6,0...8,0	$6,9 \pm 0,8$	11,6
ЭМ Э обр. 1	6,0...9,0	$7,2 \pm 0,9$	12,5
ЭМ Л	6,0...9,0	$7,5 \pm 11,1$	11,7
ЭМ РД	6,0...11,5	$7,5 \pm 1,6$	21,3
ЭМ П	6,0...10,0	$6,9 \pm 1,3$	18,8
CIP + ЭМ РД	7,0...8,0	$7,5 \pm 0,5$	6,7
CIP + ЭМ Э обр. 1	8,0...9,0	$8,5 \pm 0,5$	5,9
CIP + ЭМ Л	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
MEM + ЭМ РД	14,0...16,0	$15,0 \pm 1,0$	6,7
MEM + ЭМ Э обр. 1	12,5...15,0	$13,5 \pm 1,5$	11,1
MEM + ЭМ Л	9,0...11,5	$10,3 \pm 1,5$	14,6
ЭМ РД + MEM	8,0...10,0	$9,0 \pm 1,0$	11,1
АК + ЭМ РД	17,0	$17,0 \pm 0,0$	0,0
АК + ЭМ Э обр. 1	17,5...18,5	$18,0 \pm 0,5$	2,8
АК + ЭМ Л	6,0...6,5	$6,3 \pm 0,3$	4,8
ЭМ РД + АК	17,0	$17,0 \pm 0,0$	0,0
CAZ + ЭМ РД	15,0...17,0	$16,0 \pm 1,0$	6,3
CAZ + ЭМ Э обр. 1	8,0...9,5	$8,8 \pm 0,6$	6,8
CAZ + ЭМ Л	8,0...9,5	$8,8 \pm 0,6$	6,8
ЭМ РД + CAZ	10,0	$10,0 \pm 0,0$	0,0
АТМ + ЭМ Э обр. 1	18,0...19,0	$18,5 \pm 0,5$	2,7

В результате действия эфирных масел на антибиотикоустойчивый штамм *Acinetobacter baumannii* наблюдали бактерицидные эффекты ЭМ эвкалипта (обр. 2) и ЭМ эвкалипта (обр. 1) в 77,8 % случаев, ЭМ Л – в 55,5 %, ЭМ РД – в 61,5 %, ЭМ П – в 66,6 % случаев. Активность антибиотиков цiproфлоксацина, тигециклина, имипенема, цефтазида и нетилмицина в отношении изолята составила 20,0; 50,0; 40,0; 20,0 и 0,0 % соответственно. Полученные данные свидетельствуют о большей эффективности действия изучаемых эфирных масел на *Acinetobacter baumannii* (рис. 3).

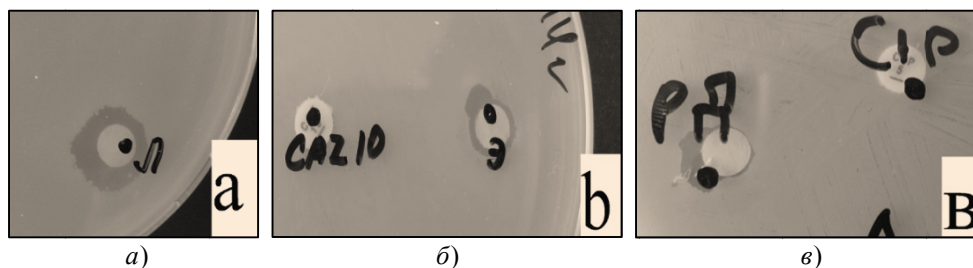


Рис. 3. Чувствительность *A. baumannii*: а – к эфирному маслу лаванды (Л); б – к эфирному маслу эвкалипта обр. 1 (Э) и антибиотику цефтазидиму 10 мкг (CAZ10); в – к эфирному маслу розового дерева (РД) и антибиотику цiproфлоксацину 5 мкг (CIP5)

При совокупном действии антибиотиков и эфирных масел РД, Э (обр. 1) и Л отмечались незначительные синергетические эффекты, наиболее выраженные в сочетаниях ЭМ эвкалипта (обр. 1) с IPM, CAZ, NET и в паре ЭМ РД + NET. Антагонистические взаимодействия проявил тигециклин с ЭМ Л и ЭМ Э (обр. 1) (табл. 3).

Таблица 3
Антибактериальная активность эфирных масел и антибиотиков
в отношении *Acinetobacter baumannii*

Название субстанции или их сочетание	Зона задержки роста, мм		Коэффициент вариации, %
	lim	$X \pm Sx$	
Ципрофлоксацин (CIP)	6,0...8,0	$6,3 \pm 0,7$	11,1
Тигециклин (TGC)	14,0...15,0	$14,5 \pm 0,5$	3,4
Имипенем (IPM)	6,0...7,0	$6,2 \pm 0,4$	6,5
Цефтазидим (CAZ)	6,0...8,0	$6,7 \pm 0,7$	10,4
Нетилмицин (NET)	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Э (обр. 1)	6,0...10,0	$7,5 \pm 1,2$	16,0
ЭМ Э (обр. 2)	6,0...9,0	$7,2 \pm 0,9$	12,5
ЭМ Л	6,0...12,0	$8,6 \pm 2,1$	24,4
ЭМ РД	6,0...9,5	$6,9 \pm 0,9$	13,0
ЭМ П	6,0...9,0	$7,1 \pm 0,8$	11,3
ЭМ Э (обр. 1) + IPM	7,5...8,0	$7,8 \pm 0,3$	3,8
ЭМ Л + IPM	7,0	$7,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ РД + IPM	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Л + TGC	8,5...9,0	$8,8 \pm 0,3$	3,4
ЭМ Э (обр. 1) + TGC	8,5	$8,5 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Э (обр. 1) + CIP	6,5...7,0	$6,8 \pm 0,3$	4,4
ЭМ Л + CIP	7,0	$7,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ РД + CIP	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Э (обр. 1) + CAZ	7,5	$7,5 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Л + CAZ	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ РД + CAZ	6,0...7,0	$6,5 \pm 0,5$	7,7
ЭМ Э (обр. 1) + NET	7,0...8,0	$7,5 \pm 0,5$	6,7
ЭМ Л + NET	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ РД + NET	8,0...9,0	$8,5 \pm 0,5$	5,9

Антибактериальное действие ЭМ Э (обр. 2) на *K. pneumoniae* выявлено в 44,4 % случаев, для остальных эфирных масел – в 55,5 %; наиболее выраженное действие оказало масло розового дерева. Зоны подавления роста микроорганизма эфирными маслами РД, Л, Э уступали в значениях тестируемым антибактериальным препаратам, за исключением ципрофлоксацина.

Масла РД, Э (обр. 2) и Л способствовали снижению антимикробного действия тигециклина, эртапенема, амикацина, цефепима в отношении *K. pneumoniae* (рис. 4). Усиление антибактериального эффекта антибиотиков отмечалось в сочетаниях ЭМ РД + CIP на 22,5 %, ЭМ РД + CTX5 – 17,3 %.

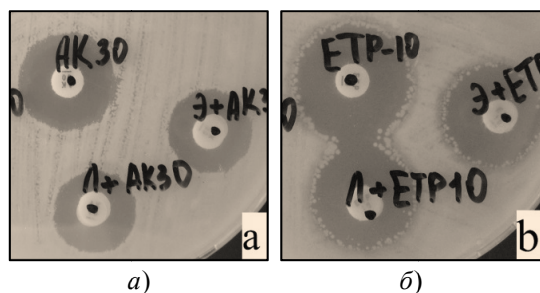


Рис. 4. Чувствительность *K. pneumoniae* к антибиотикам и сочетанию эфирное масло (ЭМ) + антибиотик: а – амикацин 30 мкг (АК 30), ЭМ лаванда (Л) + АК 30, ЭМ эвкалипт (Э обр. 2) + АК 30; б – эртапенем 10 мкг (ЕТР 10), ЭМ Л + ЕТР 10, ЭМ Э (обр. 2) + ЕТР 10

Статистические результаты по активности изучаемых субстанций против *Klebsiella pneumoniae* представлены в табл. 4.

Таблица 4

Антибактериальная активность эфирных масел и антибиотиков
в отношении *Klebsiella pneumoniae*

Название субстанции или их сочетания	Зона задержки роста, мм		Коэффициент вариации, %
	lim	$X \pm Sx$	
1	2	3	4
Тигециклин (TGC)	18,0...22,5	$20,0 \pm 1,6$	8,1
Ципрофлоксацин (CIP)	6,0...7,0	$6,2 \pm 0,3$	5,3
Цефепим (FER)	10,5...12,0	$11,5 \pm 0,6$	5,0
Амикацин (АК)	19,0...20,0	$19,6 \pm 0,1$	0,7
Эртапенем (ЕТР)	20,0...25,0	$23,1 \pm 1,3$	6,3
Цефотаксим (CTX)	6,0	$6,0 \pm 0,0$	0,0
ЭМ Э (обр. 1)	6,0...8,0	$7,1 \pm 0,8$	11,5
ЭМ Э (обр. 2)	6,0...8,0	$6,9 \pm 0,5$	8,3
ЭМ Л	6,0...9,0	$6,9 \pm 0,9$	13,0
ЭМ РД	6,0...9,0	$7,4 \pm 0,7$	9,9
ЭМ П	6,0...8,0	$6,4 \pm 0,6$	8,9
FER + ЭМ Л	8,0...9,5	$8,8 \pm 0,6$	7,1
FER + ЭМ Э (обр. 2)	9,0...10,0	$9,5 \pm 0,5$	5,3
CIP + ЭМ Л	6,5	$6,5 \pm 0,0$	0,0
CIP + ЭМ Э (обр. 2)	6,5...7,5	$7,0 \pm 0,5$	7,1
CIP + ЭМ РД	7,0...8,0	$7,5 \pm 0,5$	6,7
ЭМ РД + CIP	8,0	$8,0 \pm 0,0$	0,0
ЕТР + ЭМ Л	20,0...21,0	$20,5 \pm 0,5$	2,4
ЕТР + ЭМ Э (обр. 2)	19,0	$19,0 \pm 0,0$	0,0
ЕТР + ЭМ РД	21,0...23,0	$21,5 \pm 1,1$	5,1
ЭМ РД + ЕТР	15,0...19,0	$17,2 \pm 1,5$	8,6
АК + Л	16,0...16,5	$16,3 \pm 0,3$	1,6
АК + ЭМ Э (обр. 2)	16,0...17,0	$16,5 \pm 0,5$	3,0

1	2	3	4
TGC + ЭМ Э (обр. 2)	19,0...19,5	19,3 ± 0,2	1,2
TGC + ЭМ Л	7,5...8,0	7,8 ± 0,2	3,0
TGC + ЭМ РД	18,0...19,0	18,5 ± 0,5	2,7
ЭМ РД + TGC	9,0	9,0 ± 0,0	0,0
CTX + ЭМ РД	6,0...8,0	7,0 ± 1,0	14,3
ЭМ РД + CTX	7,0...8,0	7,5 ± 0,5	6,7

Заключение

Проведенное исследование показало, что на все изученные штаммы условных патогенов эфирные масла розового дерева, эвкалипта, лаванды, пихты оказывали бактерицидное и (или) бактериостатическое действие. Наибольшую активность они проявили в отношении *Stenotrophomonas maltophilia* и *Acinetobacter baumannii*. Компоненты испытуемых эфирных масел, по-видимому, в разной степени обладают антимикробной активностью, которая может коррелировать с наличием химических функциональных групп, и растворимостью компонентов в биологических средах.

Антагонистические взаимодействия в сочетаниях антибиотиков и масел чаще выявляли на культурах *K. pneumoniae*. Усиление активности антибиотиков в присутствии масел отмечали в большинстве случаев у *A. baumannii*. Синергетические эффекты с маслами в основном определялись у β-лактамовых антибиотиков и аминогликозидов. Тигециклин, напротив, под влиянием масел во всех определениях снижал ингибирование изолятов тестируемых бактерий.

Многокомпонентный характер эфирных масел может уменьшить вероятность формирования устойчивости, так как преодолеть антимикробное действие каждого из компонентов сложнее. Это обстоятельство указывает на возможное их использование против устойчивых к антибиотикам микроорганизмов как в монотерапии, так и в комплексном лечении инфекций.

Полученные результаты исследования свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения эфирных масел *Lavandula latifolia* Medik. (*L. spica* DC.), *Aniba rosaeodora* Ducke, *Eucalyptus viminalis* Labill., *E. globulus* Labill., *Abies sibirica* Ledeb. на госпитальные штаммы микроорганизмов как на вероятную альтернативу антибиотикам или возможные составляющие компонентов антимикробных препаратов с комплементарным механизмом действия.

Список литературы

1. Казаринова, Н. В. Использование эфирных масел для профилактики внутрибольничных инфекций и лечения кандидозов / Н. В. Казаринова, Л. М. Музыченко, К. Г. Ткаченко, А. М. Шургая, В. Н. Брежнев, О. М. Усов // Медицинские технологии. – 1995. – № 1–2. – С. 23.
2. Ткаченко, К. Г. Санационные свойства эфирных масел некоторых видов растений / К. Г. Ткаченко, Н. В. Казаринова, Л. М. Музыченко, А. М. Шургая, О. В. Павлова, Н. Г. Сафонова // Растительные ресурсы. – 1999. – Т. 35, вып. 3. – С. 11–24.
3. Семенова, Е. Ф. Скрининг антимикробной активности жидких экстрактов стевии Ребо (*Stevia rebaudiana* Bertoni) / Е. Ф. Семенова, А. С. Веденева,

- Т. П. Жужжалова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Химия. Биология. Фармация». – 2010. – № 1. – С. 121–126.
4. **Галынкин, В. А.** Фармацевтическая микробиология. Словарь терминов / В. А. Галынкин, В. И. Кочеровец, Н. А. Заикина. – М. : Арнебия, 2004. – 184 с.
 5. **Маркелова, Н. Н.** Терапия карбапенемами как селективный фактор колонизации карбапенемрезистентными микроорганизмами биотопов больных, находящихся на лечении в отделении реанимации / Н. Н. Маркелова, Н. И. Хотько, Ю. Е. Смолькова // Медико-фармакологические ресурсы и здоровый образ жизни как средства повышения качества и продолжительности жизни человека : LXIX Междунар. науч.-практ. конф. (14–20 ноября). – Лондон : International Academy of Science and Higher Education, 2013 – С. 43–46.
 6. **Маркелова, Н. Н.** Микробиологический мониторинг *Pseudomonas aeruginosa* в отделениях реанимации и интенсивной терапии / Н. Н. Маркелова, Е. Ф. Семенова // Материалы 78-й итоговой студенческой науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 95-летию со дня рождения профессора Ю. М. Лубенского (22–25 апреля). – Красноярск : Тип. КрасГМУ, Версо, 2014. – С. 391–393.
 7. Определение грамотрицательных потенциально патогенных бактерий – возбудителей внутрибольничных инфекций : метод. рекомендации. – М., 1986. – 36 с.
 8. **Муравьева, Д. А.** Фармакогнозия / Д. А. Муравьева, И. А. Самылина, Г. П. Яковлев. – М. : Медицина, 2002. – 656 с.
 9. Энциклопедический словарь лекарственных растений и продуктов животного происхождения. – СПб. : СпецЛит, Изд-во СПХФА, 2002. – 407 с.
 10. Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters Version 4.0, valid from 2014-01-01 // European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). – 2014.
 11. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; Twenty-Third International Supplement M100-S23 // Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). – 2014.
 12. **Трухачёва, Н. В.** Математическая статистика в медико-биологических исследованиях с применением пакета Statistica / Н. В. Трухачёва. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 384 с.

References

1. Kazarinova N. V., Muzychenko L. M., Tkachenko K. G., Shurgaya A. M., Brezhnev V. N., Usov O. M. *Meditinskije tekhnologii* [Medical technologies]. 1995, no. 1–2, p. 23.
2. Tkachenko K. G., Kazarinova N. V., Muzychenko L. M., Shurgaya A. M., Pavlova O. V., Safonova N. G. *Rastitel'nye resursy* [Vegetable resources]. 1999, vol. 35, iss. 3, pp. 11–24.
3. Semenova E. F., Vedeneeva A. S., Zhuzhzhhalova T. P. *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya «Khimiya. Biologiya. Farmatsiya»* [Bulletin of Voronezh State University. Series “Chemistry. Biology. Pharmacy”]. 2010, no. 1, pp. 121–126.
4. Galynkin V. A., Kocherovets V. I., Zaikina N. A. *Farmatsevticheskaya mikrobiologiya. Slovar' terminov* [Pharmaceutical microbiology. Glossary]. Moscow: Arnebiya, 2004, 184 p.
5. Markelova N. N., Khot'ko N. I., Smol'kova Yu. E. *Mediko-farmakologicheskie resursy i zdorovyy obraz zhizni kak sredstva povysheniya kachestva i prodolzhitel'nosti zhizni cheloveka : LXIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (14–20 noyabrya)* [Medical and pharmacological resources and healthy life style as means of increasing quality and duration of human life: LXIX International scientific and practical conference (14–20 November)]. London: International Academy of Science and Higher Education, 2013, pp. 43–46.
6. Markelova N. N., Semenova E. F. *Materialy 78-y itogovoy studencheskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 95-letiyu so dnya rozhdeniya professora*

- Yu. M. Lubenskogo (22–25 aprelya) [Proceedings of 78th final student scientific and practical conference with international participation commemorating 95th jubilee of professor Yu. M. Lubensky (22–25 April)]. Krasnoyarsk: Tip. KrasGMU, Verso, 2014, pp. 391–393.
7. *Opredelenie gramotritsatel'nykh potentsial'no patogennykh bakteriy – vzbuditeley vnutribol'nichnykh infektsiy: metod. rekomendatsii* [Determination of gram-negative potentially pathogenic bacteria – causative agents of nosocomial infections: guidelines]. Moscow, 1986, 36 p.
8. Murav'eva D. A., Samylina I. A., Yakovlev G. P. *Farmakognoziya* [Pharmacognosy]. Moscow: Meditsina, 2002, 656 p.
9. *Entsiklopedicheskiy slovar' lekarstvennykh rasteniy i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya* [Encyclopedic dictionary of medicinal plants and animal products]. Saint-Petersburg: SpetsLit, Izd-vo CPKhFA, 2002, 407 p.
10. *European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST)*. 2014.
11. *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)*. 2014.
12. Trukhacheva N. V. *Matematicheskaya statistika v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s primeneniem paketa Statistica* [Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package]. Moscow: GEOTAR-Media, 2012, 384 p.
-

Жученко Елена Владимировна

студентка, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: lenochek_zhuchenko@mail.ru

Zhuchenko Elena Vladimirovna

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Семенова Елена Федоровна

кандидат биологических наук,
профессор, старший научный
сотрудник, кафедра общей
и клинической фармакологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: sef1957@mail.ru

Semenova Elena Fedorovna

Candidate of biological sciences, professor,
senior staff scientist, sub-department
of general and clinical pharmacology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Маркелова Наталья Николаевна

соискатель, кафедра общей
и клинической фармакологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: nataljamarkelova@yandex.ru

Markelova Natalia Nikolaevna

Applicant, sub-department of general
and clinical pharmacology, Penza
State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Шпичка Анастасия Иосифовна

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра общей и клинической
фармакологии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: ana-shpichka@yandex.ru

Shpichka Anastasia Iosifovna

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of general
and clinical pharmacology, Penza
State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Князькова Анастасия Алексеевна
студентка, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

Knyaz'kova Anastasia Alekseevna
Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

E-mail: sentemy@yandex.ru

УДК 579.222:(579.842+579.44):615.32:615.33

Жученко, Е. В.

Влияние эфирных масел на микроорганизмы различной таксономической принадлежности в сравнении с современными антибиотиками. Сообщение III. Действие масел лаванды, розового дерева, эвкалипта, пихты на некоторые грамотрицательные бактерии / Е. В. Жученко, Е. Ф. Семенова, Н. Н. Маркелова, А. И. Шпичка, А. А. Князькова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 30–41.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДКОЖНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА В ГОЛОВНОМ МОЗГУ ЖИВОТНЫХ

Аннотация.

Актуальность и цели. Исследовались инновационные углеродные наноконпозиты для медицины, проходящие предварительные доклинические испытания, с целью дополнительного подтверждения биосовместимости и отсутствия отсроченных токсических эффектов.

Материалы и методы. Проведена подкожная имплантация инновационных углеродных наноконпозитов: углеродсодержащего материала с двойными карбидами, углеродного наноконпозита повышенной прочности с применением фуллеренов и нанотрубок. Исследованы показатели антиоксидантной системы спустя 2 недели, 4 недели, 3 месяца и 6 месяцев после имплантации.

Результаты. Показано, что отсроченных токсических эффектов после имплантации инновационных углеродных наноконпозитов не выявлено.

Выводы. Полученные нами результаты в целом хорошо коррелируют с результатами исследований клинических показателей в сыворотке животных после имплантации.

Ключевые слова: углеродные наноконпозиты, имплантация, антиоксидантная система, головной мозг, биосовместимость.

Y. P. Yastremskaya, O. D. Lyubchenko

THE STUDY OF THE EFFECT OF SUBCUTANEOUS IMPLANTATION OF INNOVATIVE CARBON NANOCOMPOSITES ON ANTIOXIDANT STATUS CHANGE IN THE RATS' BRAIN

Abstract.

Background. The authors investigated innovative carbon nanocomposites for medicine, undergoing preliminary pre-clinical testing, in order to additionally confirm biocompatibility and absence of delayed toxic effects.

Materials and methods. The researchers subcutaneously implanted innovative carbon nanocomposites: a carbonaceous material with double carbide, a carbon nanocomposite of enhanced strength using fullerenes and nanotubes. The authors researched indices of the antioxidant system after 2 weeks, 4 weeks, 3 months and 6 months since implantation.

Results. It is shown that there has been revealed no delayed toxic effects after implantation of innovative carbon nanocomposites.

Conclusions. The results obtained are in general well-correlated with the results of researching clinical indices in animal serum after implantation.

Key words: carbon nanocomposites, implantation, antioxidant system, brain, biocompatibility.

В настоящее время актуальным является вопрос разработки новых материалов для восстановительной и пластической хирургии в связи с ограни-

ченностью применения аллогенных материалов и ксенобиотиков. Существует ряд возможных негативных реакций со стороны организма на имплантат, одним из которых является окислительный стресс.

На данный момент достаточно известно о природе и механизмах развития стресса. В ответ на стрессорное воздействие в организме человека или животного развивается стресс-реакция, или срочная адаптация. Это дает возможность организму мобилизоваться и выжить в новых экстремальных условиях, но, по сути, этот процесс чрезвычайно неэкономичен и несовершенен, так как сопровождается серьезными нарушениями гомостаза [1]. Стресс неотделим от самого явления жизни, поэтому в процессе эволюции сформировались мощные механизмы защиты от его возможных повреждающих последствий. Одним из таких способов защиты является работа антиоксидантных систем организма, основу которых составляют ферментативные и неферментативные компоненты [2]. В то же время состояние антиоксидантной системы можно рассматривать как своеобразный маркер адекватности процессов, протекающих в организме: насколько комфортны условия существования, нет ли очагов воспаления. Это позволяет включить изменения антиоксидантного статуса в список параметров, используемых при оценке биосовместимости материалов после имплантации.

Биосовместимость того или иного материала или имплантируемого элемента определяется не только его химической и надмолекулярной структурой, но и формой, топографией поверхности, спецификой взаимодействия с окружающими тканями. Это означает, что требования, предъявляемые к биоматериалам, разнообразны и многогранны, поэтому в каждом отдельном случае необходимо рассматривать конкретное содержание, вкладываемое в понятие биосовместимости применительно к целевому назначению каждого отдельного материала.

В наибольшей степени указанным требованиям отвечают материалы на основе углерода, так как реализуются биосовместимые, тромборезистентные, поверхностные, гальвано-электрические и другие характеристики. Исходя из этих положений были разработаны инновационные углеродные наноконпозиты для медицины. Однако ответом на вопрос о возможности применения каждого конкретного материала должно стать обязательное тестирование готового образца на предмет соответствия требованиям, предъявляемым к материалам для эндопротезирования.

По результатам, полученным при проведении испытаний согласно ГОСТ Р ИСО 10993 «Оценка биологического действия медицинских изделий» [3, 4], отсроченного токсического действия данных инновационных углеродных наноконпозитов на животных не выявлено, однако в связи с повышающимися требованиями к качеству материалов для медицины требуются дополнительные исследования влияния образцов на другие системы, поэтому целью данной работы являлось изучение отсроченного влияния имплантации материалов на показатели антиоксидантного статуса в головном мозгу животных.

1. Материалы исследования

Материалы, представленные для оценки токсичности и биологической безопасности, были разработаны и произведены ООО «МедИнж-Пироуглерод» в рамках государственного контракта 12411.1008799.13.053 от 14 мая

2012 г. с Министерством промышленности и торговли Российской Федерации. Для проведения исследования на кафедре «Биохимия» Пензенского государственного университета в соответствии с договором 03/13 НИР поступили следующие образцы: углеродсодержащий материал с двойными карбидами (УНДК), углеродный нанокompозит повышенной прочности с применением фуллеренов и нанотрубок (УНПП).

Исследуемые материалы разработаны для изготовления следующих имплантатов и эндопротезов: тотальный коленный сустав, однополюсный коленный сустав, ревизионный коленный сустав, тотальный тазобедренный сустав, тотальный тазобедренный сустав с опорной пластиной, биполярный тазобедренный сустав, ревизионный тазобедренный сустав, плечевой сустав, локтевой сустав, лучезапястный сустав, суставы пальцев рук, суставы пальцев ног, голеностопный сустав, челюстно-лицевой сустав, имплантат межпозвонковый подвижный, имплантат межпозвонковый неподвижный.

Все этапы работы проходили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10993 «Оценка биологического действия медицинских изделий». Стандарты серии ИСО 10993 – руководящие документы для прогнозирования и исследования биологического действия медицинских изделий на стадии выбора материалов, предназначенных для их изготовления, а также для исследований готовых изделий. Системная токсичность является потенциальным неблагоприятным эффектом использования медицинских изделий. Эффекты обобщенного характера, а также конкретных органов и систем могут появляться в результате абсорбции, распределения и метаболизма веществ, вымываемых из изделия или его материалов, в участках организма, с которыми они не находятся в прямом (непосредственном) контакте. Настоящий стандарт рассматривает оценку обобщенной системной токсичности, но не токсичности конкретного органа-мишени или системы органов, несмотря на то, что таковая может развиться в результате систематической абсорбции и распределения токсических веществ.

Эксперимент проводился на здоровых половозрелых беспородных самцах крыс, разделенных на четыре группы, которые в дальнейшем делились на 16 подгрупп: опытные (8), контрольные (4) и интактные (4). В работе были использованы 96 10-недельных животных массой 200–250 г. Образцы были имплантированы в подкожно-жировую клетчатку крыс. Для исследования острого, подострого, субхронического и хронического воздействия нами были определены этапы изучения отсроченного действия образцов: 2 недели, 4 недели, 3 месяца и 6 месяцев после имплантации соответственно.

Лабораторные животные для испытания образцов были приобретены в филиале «Столбовая» ГУ НЦБМТ РАМН. На протяжении всего эксперимента они содержались в стандартных условиях вивария (ГОСТ Р 50258–92).

2. Методы исследования

Имплантация проводилась по методу Fishbein M. et al. [5]. Перед операцией животные в течение 10 дней содержались в виварии для акклиматизации. Исходя из массы тела животных и их размера на момент операции, были выбраны количество и размер имплантатов: брусочки размером $5 \times 2 \times 2$ мм, по 4 шт. в одно животное, конечная общая масса материала – УНДК (0,167 г),

УНПП (0,153 г). Перед операцией образцы были стерилизованы окисью этилена.

Ежедневное наблюдение за общим состоянием животных (ГОСТ Р ИСО 10993) после операции, а также за состоянием послеоперационного шва не показало реакций воспаления, гнойных осложнений или других ответов организма на имплантированные материалы. Животные были активны, жажда и аппетит сохранялись. Неврологических расстройств не наблюдалось.

В установленные сроки после имплантации образцов – 2 недели, 4 недели, 3 месяца и 6 месяцев – опытных, контрольных и интактных животных декапитировали под эфирным наркозом, извлекали головной мозг, помещали в охлажденный (0–4 °C) раствор 0,25 М сахарозы, очищали от оболочек, замораживали и хранили при –40 °C для последующего анализа [6].

2.1. Определение общей перекись разрушающей активности в головном мозгу животных

Для определения общей перекись разрушающей активности был выбран модифицированный колориметрический метод М. А. Королюка [2]. Метод основан на способности перекиси образовывать с молибдатом аммония окрашенный комплекс. Ферментативную активность выражали в миллимолях субстрата (перекись водорода), расщепленного за 1 мин инкубации, на 1 мг белка.

Концентрацию белка в пробах определяли по модифицированному методу Лоури [7].

При оценке полученных экспериментальных данных были использованы методы статистического описания, а также методы проверки статистических гипотез. Результаты выражали как среднее арифметическое $\bar{X}$, статистическую девиацию SD или ошибку среднего значения m .

Для анализа имеющихся выборок данных использовали гипотезу нормальности распределения (χ -критерий). При соответствии нормальному распределению признака в исследуемых выборках проверку гипотезы о равенстве средних выборочных величин проводили с использованием t -критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при уровне достоверности $p < 0,05$ [8].

3. Результаты и обсуждение

3.1. Лабораторные показатели отсроченного действия спустя 2 недели после имплантации

Результаты исследования показали выраженное повышение активности перекись разрушающих ферментов в головном мозгу животных через 2 недели после имплантации УНПП, что указывает на активный ответ антиоксидантных систем организма на имплантацию материалов и развитие окислительного стресса. Данные результаты характерны для воспалительных реакций и процессов регенерации в первые недели после операции (рис. 1).

При этом следует отметить, что у контрольной группы не наблюдается повышения активности исследуемых ферментов антиоксидантной системы по сравнению с интактной группой, что указывает на отсутствие развития стресс-реакции у ложнооперированных животных через 2 недели после операции.

2 недели после имплантации

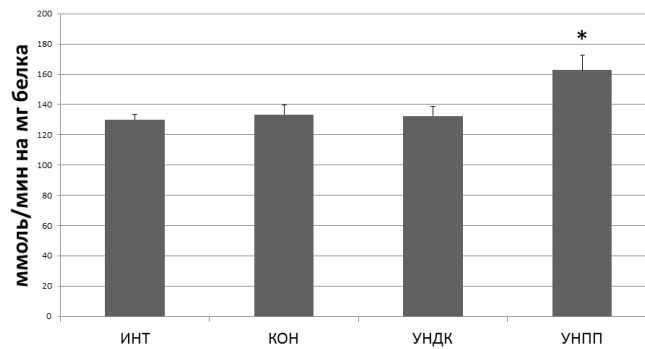


Рис. 1. Уровень перекись разрушающей активности в головном мозгу животных после декапитации по истечении 2-недельного срока

Примечание. Здесь и на рис. 2–4: по оси ОУ – значения активности ферментов, по оси ОХ – подгруппы исследуемых животных: ИНТ – интактная, КОН – контрольная (ложнооперированная), УНДК – подгруппа с углеродсодержащим материалом с двойными карбидами, УНПП – подгруппа с углеродным нанокompозитом повышенной прочности с применением фуллеренов и нанотрубок; * – $P < 0,05$ по сравнению с контрольной группой.

3.2. Лабораторные показатели отсроченного действия спустя 4 недели после имплантации

Результаты исследования через 4 недели после имплантации материалов показали повышение активности перекись разрушающих ферментов в головном мозгу животных только у группы УНПП, а также у контрольной группы по сравнению с интактной. Ответная реакция антиоксидантных систем у животных, для которых в качестве материалов был использован УНДК, не выражена, и ее можно сравнивать с показателями интактной группы, что может говорить о положительной динамике (рис. 2).

4 недели после имплантации

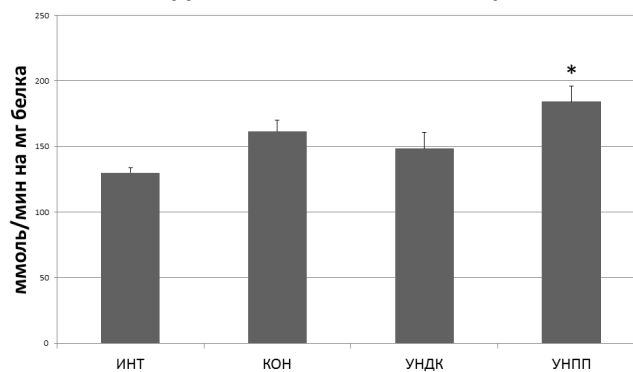


Рис. 2. Уровень перекись разрушающей активности в головном мозгу животных после декапитации по истечении 4-недельного срока

3.3. Лабораторные показатели отсроченного действия спустя 3 месяца после имплантации

Результаты исследования спустя 3 месяца после имплантации материалов показали значительное повышение активности перекиси разрушающих ферментов в группах УНПП и УНДК. Более поздний ответ антиоксидантной системы головного мозга на УНДК можно объяснить хорошей защищенностью головного мозга гематоэнцефалическим барьером, благодаря чему ответ нервной системы предсказуемо может быть позднее, чем ответ других систем организма (рис. 3).

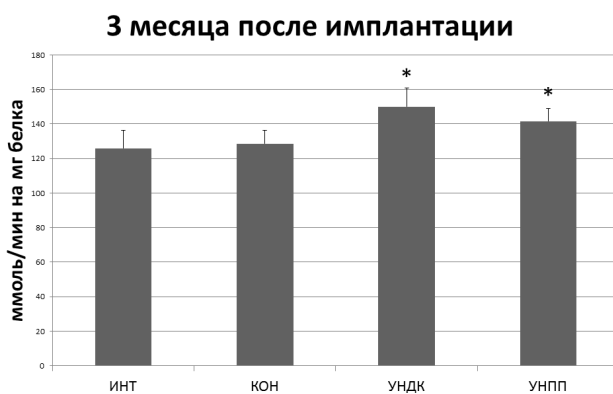


Рис. 3. Уровень перекиси разрушающей активности в головном мозгу животных после декапитации по истечении 3-месячного срока

3.4. Лабораторные показатели отсроченного действия спустя 6 месяцев после имплантации

Результаты исследования через 6 месяцев после имплантации показали выраженное повышение активности перекиси разрушающих ферментов в головном мозгу животных с УНПП, что может свидетельствовать о длительном развитии окислительного стресса, связанного с выбранным местом имплантации, поскольку данный материал достаточно прочный и не предназначен для подкожной имплантации (рис. 4).

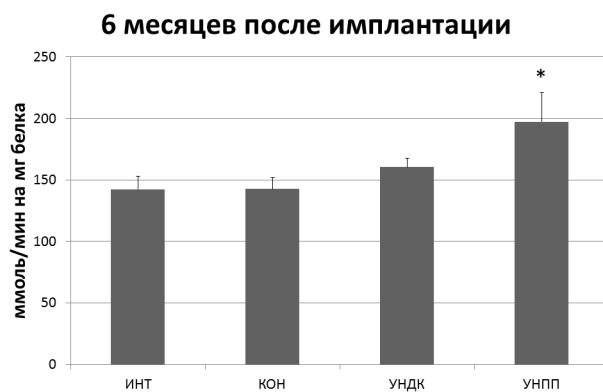


Рис. 4. Уровень перекиси разрушающей активности в головном мозгу животных после декапитации по истечении 6-месячного срока

Полученные нами результаты в целом хорошо коррелируют с результатами исследований клинических показателей в сыворотке животных после имплантации [9, 10]. Это свидетельствует об умеренном протекании реакций воспаления и регенерации практически всех материалов, за исключением УНПП и ткани, в ответ на имплантацию которых окислительный стресс продолжается на протяжении 6 месяцев после операции. Однако это связано, по-видимому, с местом имплантации и размером имплантата, которые могут вызывать локальное раздражение и умеренный стресс. В целом мы наблюдаем картину, типичную для постоперационной регенерации тканей: умеренно протекающее воспаление сменяется процессами заживления.

Можно заключить, что материалы, представленные для испытаний, не оказывают токсического влияния на организм и не вызывают реакций воспаления, отторжения. Они удовлетворяют требованиям к материалам для имплантатов и эндопротезов в части биологической безопасности.

Кроме того, оценка активности перекись разрушающих ферментов в головном мозгу животных после имплантации материалов может служить методом, который не только характеризует процессы биосовместимости, но и позволяет оценить методическую сторону эксперимента, такую как размер и место размещения имплантата.

Список литературы

1. **Соловьев, В. Б.** Роль пептидергической системы в адаптационных процессах и регуляции метаболизма при физической работе : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Соловьев В. Б. ; Российский университет дружбы народов (РУДН). – М., 2011. – 46 с.
2. **Величко, А. К.** Методы лабораторного определения общей перекись разрушающей активности ферментов растений / А. К. Величко, В. Б. Соловьев, М. Т. Генгин // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки. – 2009. – № 14 (18). – С. 44–48.
3. **Любченко, О. Д.** Испытание образцов изделий из углеродосодержащего нанокompозита с двойными карбидами для медицины на биологическую безопасность и токсичность / О. Д. Любченко, В. Б. Соловьев, В. Ф. Татаринцов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 6. – С. 82–86.
4. **Любченко, О. Д.** Испытание опытных образцов из углеродных нанокompозитов на биологическую безопасность и токсичность / О. Д. Любченко, В. Б. Соловьев, В. Ф. Татаринцов, Я. П. Ястремская // Биология – наука XXI века : 18-я Международный. Пушкинская школа-конференция молодых ученых : сб. тез. конф. – Пушкино, 2014. – С. 30–31.
5. **Fishbein, M.** Calcification of cardiacvalve bioprotheses: Histologic, ultrastructural, and biochemical studies in a subcutaneous implantation model system / M. Fishbein, R. J. Levy [and etc.] // The Journal of Thoracic Cardiovascular Surgery. – 1982. – 320 p.
6. **Генгин, М. Т.** Влияние атропина на активность карбоксипептидазы Н и фенилметилсульфонилфторид-ингибируемой карбоксипептидазы в отделах мозга и надпочечниках крыс / М. Т. Генгин, В. Б. Соловьев // Нейрохимия. – 2007. – Т. 24, № 2. – С. 138–142.
7. **Lowry, O. H.** Protein measurement with Folin phenol reagent / O. H. Lowry, N. J. Rosebrought, A. L. Farr, R. J. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, № 1. – P. 265–275.
8. **Лакин, Г. Ф.** Биометрия : учеб. пособие для вузов / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 280 с.
9. **Соловьев, В. Б.** Морфологические изменения в зоне имплантации углеродсодержащих материалов / В. Б. Соловьев, М. Г. Федорова, О. Д. Любченко,

- В. Ф. Татаринев, А. С. Купрюшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2014. – № 1 (29). – С. 27–36.
10. Соловьев, В. Б. Морфологические изменения в зоне имплантации углеродсодержащих материалов в отдаленные сроки после операции / В. Б. Соловьев, М. Г. Федорова, О. Д. Любченко, В. Ф. Татаринев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2014. – № 3 (31). – С. 39–48.

References

- Solov'ev V. B. *Rol' peptidergicheskoy sistemy v adaptatsionnykh protsessakh i regul'yatsii metabolizma pri fizicheskoy rabote: avtoref. dis. d-ra biolog. nauk* [Role of peptidergic system in adaptation and regulation of metabolism at physical work: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Peoples' Friendship University of Russia. Moscow, 2011, 46 p.
- Velichko A. K., Solov'ev V. B., Gengin M. T. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural sciences]. 2009, no. 14 (18), pp. 44–48.
- Lyubchenko O. D., Solov'ev V. B., Tatarinov V. F. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [Topical problems of humanities and natural sciences]. 2014, no. 6, pp. 82–86.
- Lyubchenko O. D., Solov'ev V. B., Tatarinov V. F., Yastremskaya Ya. P. *Biologiya – nauka XXI veka: 18-ya Mezhdunar. Pushchinskaya shkola-konferentsiya molodykh uchennykh: sb. tez. konf.* [Biology – science of XXI century: 18th International Pushkin's school-conference of young scientists: conference theses collection]. Pushchino, 2014, pp. 30–31.
- Fishbein M., Levy R. J. and etc. *The Journal of Thoracic Cardiovascular Surgery*. 1982, 320 p.
- Gengin M. T., Solov'ev V. B. *Neyrokimiya* [Neurochemistry]. 2007, vol. 24, no. 2, pp. 138–142.
- Lowry O. H., Rosebrought N. J., Farr A. L., Randall R. J. *J. Biol. Chem.* 1951, vol. 193, no. 1, pp. 265–275.
- Lakin G. F. *Biometriya: ucheb. posobie dlya vuzov* [Biometrics: tutorial for universities]. Moscow: Vyssh. shk., 1990, 280 p.
- Solov'ev V. B., Fedorova M. G., Lyubchenko O. D., Tatarinov V. F., Kupryushin A. S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki* [University proceedings. Volga region. Medical sciences]. 2014, no. 1 (29), pp. 27–36.
- Solov'ev V. B., Fedorova M. G., Lyubchenko O. D., Tatarinov V. F. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki* [University proceedings. Volga region. Medical sciences]. 2014, no. 3 (31), pp. 39–48.

Ястремская Яна Павловна

магистрант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yana1991bio@mail.ru

Yastremskaya Yana Pavlovna

Undergraduate student, Penza
State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Любченко Олеся Дмитриевна

аспирант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: filology@inbox.ru

Lyubchenko Olesya Dmitrievna

Postgraduate student, Penza
State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 577

Ястремская, Я. П.

Изучение влияния подкожной имплантации инновационных углеродных нанокомпозитов на изменение антиоксидантного статуса в головном мозгу животных / Я. П. Ястремская, О. Д. Любченко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 42–50.

УДК 546.05:54-19:[546.62+546.56+546.72+ 546.762]

Д. Б. Чугунов, А. Н. Ключагина, А. К. Осипов, Л. Л. Мешков

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Cu–Fe–Cr В КИСЛЫХ И НЕЙТРАЛЬНЫХ СРЕДАХ

Аннотация.

Актуальность и цели. Изучение коррозионного поведения Al–Cu–Fe–Cr системы с составом, близким к квазикристаллическому, является весьма актуальным из-за высокого интереса в последнее время к квазипериодической структуре, полезных свойств для применения в различных отраслях хозяйства. Целью данной работы являлось выяснение взаимного влияния компонентов и фазовых структурных составляющих сплавов алюминия с медью и железом на их анодное поведение в кислых и щелочных средах.

Материалы и методы. Исходными материалами служили электролитический Al чистоты 99,9 %, электролитическая медь (99,9 %), карбонильное железо и хром чистотой 99 %. Образцы для исследования запаивались в пластик и имели площадь рабочей поверхности 0,096 см². Для изучения электрохимического поведения и коррозионной стойкости системы Al–Cu–Fe–Cr использовался потенциодинамический метод с применением трехэлектродной ячейки Dr. Bob's Cell. Объем электролита, используемый для анализа, составлял 30 мл. Анодные поляризационные кривые снимали в 3 %-х растворах хлорида натрия, серной и соляной кислот марки х.ч. с помощью потенциостата Gamry Reference 3000 со скоростью развертки потенциала 1,5 мВ/с. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, наполненный насыщенным раствором хлорида калия, в качестве вспомогательного – платиновый. Сплавы были получены методом дуговой плавки в атмосфере аргона [1]. Для определения концентрации отдельных компонентов сплава, перешедших в раствор, использовали атомно-абсорбционный спектрометр Shimadzu AA-7000.

Результаты. В рамках выполненного эксперимента по электрохимическому поведению образцов Al–Cu–Fe–Cr потенциодинамическим методом в кислых и нейтральных растворах получены анодные поляризационные кривые. Изучено влияние pH на коррозионные характеристики сплавов. Выяснено, что в образце с большим содержанием меди наблюдается наименьшая скорость коррозии во всех испытываемых средах.

Выводы. Показано, что во всех электролитах коррозионные характеристики сплавов различны. Наибольшая активность наблюдается в 3 %-м растворе HCl, а наименьшая – в растворе H₂SO₄. Изучено влияние состава на электрохимическое растворение сплавов.

Ключевые слова: анодное растворение, сплавы, коррозия, физико-химический анализ, электрод, электрохимическая ячейка, потенциал, квазикристаллы.

D. B. Chugunov, A. N. Kljuchagina, A. K. Osipov, L. L. Meshkov

ANODIC BEHAVIOR OF ALLOYS Al–Cu–Fe–Cr IN ACIDIC AND NEUTRAL SOLUTIONS

Abstract.

Background. The study of the corrosion behavior of Al–Cu–Fe–Cr system with composition close to the quasicrystalline is highly relevant because of the high interest in recent years to a quasi-periodic structure, to useful properties for usage in various industries. The aim of this study is to elucidate the mutual influence of components and phase structural components of aluminum alloys with copper and iron on their anodic behavior in acidic and alkaline solutions.

Materials and methods. The starting materials were Al electrolytic of 99,9 % purity, electrolytic copper (99,9 %) and carbonyl iron of 99 % purity. Test samples were sealed in plastic and had a working surface area of 0,096 cm². To study the electrochemical behavior and corrosion resistance of Al–Cu–Fe–Cr used the potentiodynamic method using a three-electrode cell – Dr. Bob's Cell. The volume of the electrolyte used for the analysis was 30 ml. Anodic polarization curves were studied in 3 % sodium chloride, sulfuric acid and hydrochloric acid using a potentiostat Gamry Reference 3000 at potential sweep rate of 1,5 mV/s. As a reference electrode the authors used a silver chloride electrode filled with a saturated solution of potassium chloride and platinum as an auxiliary electrode. The alloys were prepared by arc melting in an argon atmosphere [1]. To determine the concentration of the individual components of the alloy, passed into the solution, the authors used an atomic absorption spectrometer Shimadzu AA-7000.

Results. In the framework of the experiment on the electrochemical behavior of samples of Al–Cu–Fe–Cr the authors obtained anodic polarization curves by the potentiodynamic method in acidic and neutral solutions. The researchers studied the influence of pH on the corrosion performance of the alloys. It was found that in a sample with a high content of copper the corrosion rate is the lowest among all test environments.

Conclusions. It is shown that in all electrolytes the corrosion characteristics of alloys are different. The highest activity is observed in a 3 % solution of HCl, and the lowest in solution of H₂SO₄. The authors studied the effect of the composition on the electrochemical dissolution of alloys.

Key words: anodic dissolution of alloys, corrosion, physical and chemical analysis, electrode, electrochemical potential, quasicrystals.

Введение

Актуальной задачей современного материаловедения является создание эффективных и экономичных материалов с заранее заданными свойствами и с рациональной технологией их получения. Совершенно новый класс материалов с квазикристаллической структурой был открыт не так давно Шехтманом в быстрозакаленном сплаве Al–Mn. С тех пор данные материалы вызывают огромный интерес у исследователей. Квазикристаллы ввиду своей особенной электронной структуры обладают низкими коэффициентами трения, электрической и теплопроводностью, высокой твердостью, износостойкостью и в то же время хрупкостью. Их кристаллическая структура характеризуется наличием дальней ориентации и осей симметрии 5-го и 10-го порядков.

Сведения в литературе о коррозионной стойкости покрытий, содержащих квазикристаллическую фазу, весьма ограничены и относятся в основном к сплавам системы Al–Cu–Fe [2].

Есть данные о исследовании коррозионной стойкости плазменных покрытий сплава Al–Cu–Fe–Cr в растворе уксусной кислоты с добавкой SO₄²⁻ ионов [3], которые свидетельствуют о плохой коррозионной стойкости данных покрытий.

В работе [4] приведены сведения о коррозионном поведении квазикристаллических фаз в системах Al–Cu–Fe–Cr и Al–Cr–Fe по сравнению с нержавеющей сталью.

В настоящей статье изучено влияние H_2SO_4 , HCl и NaOH на коррозионную стойкость сплавов системы Al–Cu–Fe–Cr ($Al_{65}Cu_{20}Fe_{10}Cr_5$, $Al_{65}Cu_{25}Fe_5Cr_5$, $Al_{70}Cu_{20}Fe_5Cr_5$) в области, богатой алюминием, с различным содержанием компонентов: Al, Cu, Fe, варьирование 5–10 масс. %; наличием в образцах квазикристаллической, а также ω - Al_7Cu_2Fe , Al_2Cu и AlCu фаз.

Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 1, в 3 %-м растворе H_2SO_4 сплавы независимо от их соотношения компонентов и фазового состава находятся в активном состоянии. Сдвиг потенциала поляризации в положительную область изменяет ход анодных кривых. Значения потенциалов свободной коррозии сплавов мало отличаются друг от друга (с $\varphi = -0,46$ В до $\varphi = -0,3$ В). Наблюдается беспрепятственное анодное растворение. Дальнейший сдвиг φ поляризации в положительном направлении видоизменяет ход анодных поляризационных кривых, что сказывается на поляризационных характеристиках, соотношении компонентов и фазовом составе сплава. Наименьшие токи растворения ($i_{\text{раств}}$) имеет образец состава $Al_{65}Cu_{25}Fe_5Cr_5$, критический $i_{\text{раств}}$ находится в более отрицательной области потенциалов, что и потенциал свободной коррозии ($\varphi > -0,5$ В). Регистрируется небольшая область потенциалов пассивного состояния. Критические токи пассивации более значительны в сплаве $Al_{70}Cu_{20}Fe_5Cr_5$, что подтверждается в работе [4]. Критический φ пассивации сдвинут в более положительную область. Незначительная область пассивного состояния имеет и сплав $Al_{65}Cu_{20}Fe_{10}Cr_5$. Дальнейшая поляризация сплавов приводит к инициированию анодного процесса. Поверхности образцов сплавов в процессе поляризации не претерпели изменений, pH среды активирует анодный процесс, тем не менее SO_4^{2-} ионы играют пассивирующую роль. Вероятно, этим можно объяснить целостность поверхностного слоя.

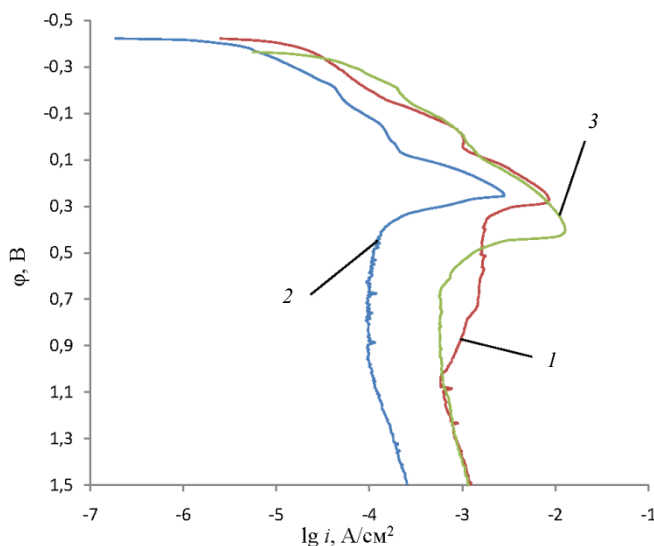


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые сплавов:
1 – $Al_{65}Cu_{20}Fe_{10}Cr_5$; 2 – $Al_{65}Cu_{25}Fe_5Cr_5$; 3 – $Al_{70}Cu_{20}Fe_5Cr_5$ в 3 %-м растворе H_2SO_4

Рассмотрение анодного поведения сплавов в 3 %-м растворе соляной кислоты (рис. 2) показывает существенные изменения в электрохимических характеристиках сплавов.

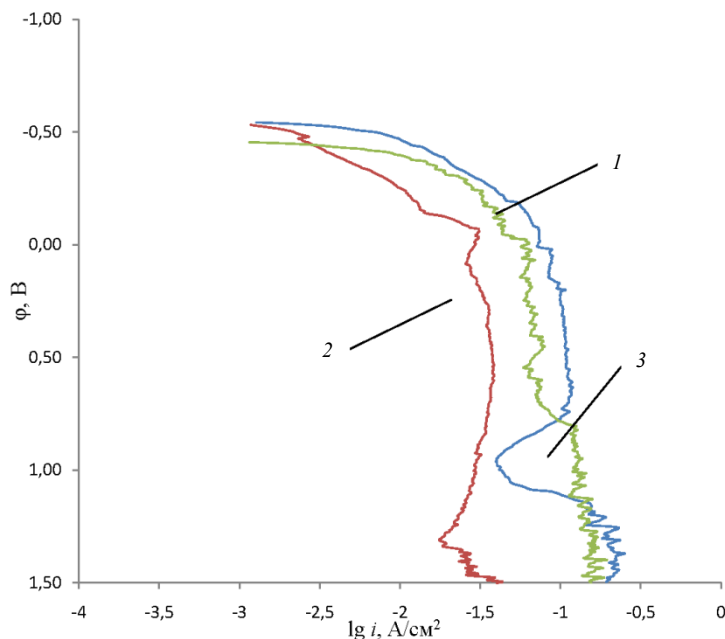
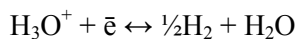


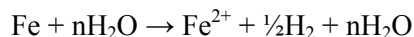
Рис. 2. Анодные поляризационные кривые сплавов:
1 – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_5$; 2 – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$; 3 – $\text{Al}_{70}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$ в 3 %-м растворе HCl

Токи растворения на несколько порядков больше, чем в растворе серной кислоты. В более отрицательной области располагаются потенциалы свободной коррозии сплавов. Раствор в процессе испытаний приобрел зеленый цвет, что не наблюдается в растворе H_2SO_4 . Вероятно, активатором процесса в HCl являются ионы Cl^- , которые нарушают оксидную пленку Cr в поверхностном слое сплава, и хром переходит в раствор $\text{Cr}^0 - 3\bar{e} = \text{Cr}^{3+}$, окрашивая раствор в зеленый цвет. Поверхность сплавов покрыта сплошными питтингами с их обезуглероживанием.

Наблюдается бурное выделение газа с поверхности рабочего электрода. Вероятным проявлением данного процесса может служить контакт электроотрицательного металла с раствором кислоты, т.е. в типичной коррозионной системе [5]. Таким компонентом в данной системе может быть железо. Кроме электронных реакций, относящихся к ионам металлов, в этой системе, вероятно, протекают разряд водородных ионов, что необходимо учитывать, и обратный процесс ионизации водорода:



Металл будет ионизироваться вследствие необратимого выделения водорода:



Выделение газа начинается с $\phi = 0,8$ В. Однако наряду с различием характеристик в анодном поведении сплавов в серной и соляной кислотах име-

ется общая особенность. В этом и другом случае наименьшими токами растворения обладает сплав состава $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$, потенциалы свободной коррозии менее отрицательны.

Сравнивая анодные поляризационные кривые сплавов в 3 %-м растворе NaCl и HCl (см. рис. 2 и 3), мы видим, что pH среды не существенно сказывается на электрохимических характеристиках сплавов, за исключением более крутого спада кривых со сдвигом потенциала в положительном направлении в 3 %-й кислоте.

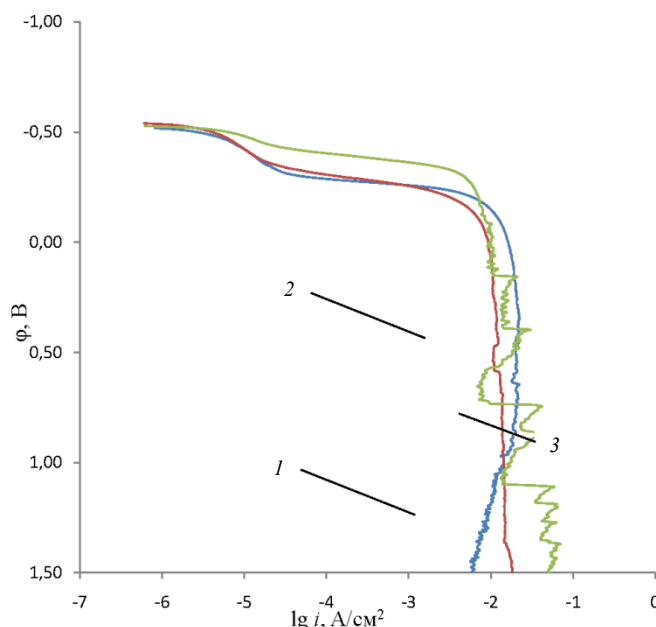


Рис. 3. Анодные поляризационные кривые сплавов:
1 – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_5$; 2 – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$; 3 – $\text{Al}_{70}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$ в 3 %-м растворе NaCl

Анализ раствора NaCl после электрохимических испытаний приведен в табл. 1. Токи растворения одного порядка, что и в растворе серной кислоты (см. рис. 1 и 3). Сохраняется вышеотмеченная особенность, и в данном случае токи растворения меньше у сплава $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$. Эта тенденция более очевидна со смещением ϕ поляризации в положительную область ($\phi > 0,5 \text{ В}$). Сплавы в процессе анодной поляризации подверглись глубоким поверхностным разрушениям (рис. 4). Как показали исследования, характер растворения сплава зависит от потенциала и pH раствора. Увеличение содержания в сплаве меди приводит к улучшению электрохимических характеристик сплава.

Таблица 1

Масса компонентов, перешедших в 3 %-й раствор NaCl

Состав сплава, ат%	Масса, перешедшая в раствор, мг			
	Al	Fe	Cu	Cr
$\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_5$	2,75	0,495	0,00445	0,187
$\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$	1,32	0,142	0,000261	0,132
$\text{Al}_{70}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$	3,15	0,234	0,004	0,188

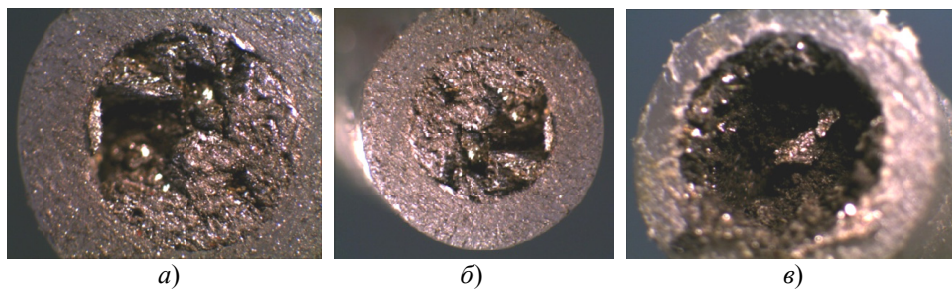
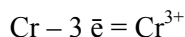
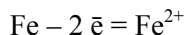
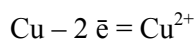
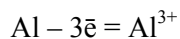


Рис. 4. Поверхность электродов после электрохимических испытаний в 3 %-м растворе HCl: а – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_5$; б – $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$; в – $\text{Al}_{70}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_5\text{Cr}_5$

Заключение

Рассмотрение анодного поведения системы Al–Cu–Fe–Cr при различном содержании и соотношении их компонентов показывает, что сплавы независимо от pH среды и природы электролита находятся в активном состоянии в широкой области потенциалов поляризации. Присутствие в сплаве твердого раствора характеризуется растворением отдельных его компонентов [1, 6, 7]. В данном случае независимо от соотношения металлов в твердом растворе сплава происходит активное растворение:



Общая скорость процесса складывается из площади токов указанных реакций:

$$i_{\text{Al}} + i_{\text{Cu}} + i_{\text{Fe}} + i_{\text{Cr}}.$$

Показано, что в 3 %-м растворе HCl при pH = 2 электрохимические характеристики сплавов существенно отличаются от таковых в 3 %-м растворе H_2SO_4 при pH = 2. Критические токи растворения в первом случае больше на несколько порядков. Поверхность сплавов подвергается разрушению при смещении потенциала в положительном направлении (0,8 В), а переход ионов хрома в раствор происходит при потенциале ($\varphi = 0,3$ В). Еще одним подтверждением данного процесса является анализ раствора на содержание ионов Cr (см. табл. 1) и изменение окраски электролита. Такая же картина наблюдается и в нейтральном растворе NaCl. Независимо от pH токи растворения в хлориде натрия такого же порядка, что и в растворе HCl. Таким образом, в активном растворении сплава преобладающую роль играют Cl^- -ионы, на что указывают массовые потери сплавов в растворе кислот и соли.

Список литературы

1. Калмыков, К. Б. Фазовые равновесия в системе Al–Cu–Fe при температуре 853 К в области, богатой алюминием / К. Б. Калмыков, Н. Л. Зверева, С. Ф. Дунаев, Н. В. Казеннов, Е. В. Татьяна, Г. В. Семернин, Н. Е. Дмитриева, Ю. В. Балыкова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2009. – Т. 50, № 2. – С. 122–128.

2. **Massiani, Y.** Electrochemical corrosion behaviour of quasicrystalline coatings in dilute acetic acid / Y. Massiani, S. Ait-Yaazza // *Proc. of the 5th Inter. conf. on quasicrystals (Avignon, 22–26 May)*. – 1995. – P. 790–793.
3. **Dubois, J. M.** Quasicrystalline coatings with reduced adhesion for cookware / J. M. Dubois, A. Proner, B. Bucaille [et al.] // *Ann. Chem. Fr.* – 1994. – Vol. 19. – P. 3–25.
4. **Veys, D.** Electrochemical behavior of approximant phases in the Al–(Cu)–Fe–Cr system / D. Veys, C. Rapin, L. Aranda [et al.] // *J. of Non-Crystalline Solids*. – 2004. – № 11. – P. 1–10.
5. **Widjaja, E. J.** In situ studies of magnetron sputtered Al–Cu–Fe–Cr quasicrystalline thin films / E. J. Widjaja, L. D. Marks // *Thin Solid Films*. – 2002. – Vol. 420, 421. – P. 295–299.
6. **Kang, Y.** Electrochemical behavior of low-pressure plasma-sprayed Al–Cu–Fe–Cr quasicrystalline coating / Y. Kang, C. Zhou, S. Gong, H. Xu // *Vacuum*. – 2005. – № 79. – P. 148–154.
7. **Rudiger, A.** Corrosion of Al–Cu–Fe quasicrystals and related crystalline phases / A. Rudiger, U. Koster // *J. of Non-Crystalline Solids*. – 1999. – Vol. 250–252. – P. 898–902.

References

1. Kalmykov K. B., Zvereva N. L., Dunaev S. F., Kazennov N. V., Tat'yanin E. V., Semernin G. V., Dmitrieva N. E., Balykova Yu. V. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Khimiya* [Bulletin of Moscow University. Series 2. Chemistry]. 2009, vol. 50, no. 2, pp. 122–128.
2. Massiani Y., Ait-Yaazza S. *Proc. of the 5th Inter. conf. on quasicrystals (Avignon, 22–26 May)*. 1995, pp. 790–793.
3. Dubois J. M., Proner A., Bucaille B. et al. *Ann. Chem. Fr.* 1994, vol. 19, pp. 3–25.
4. Veys D., Rapin C., Aranda L. et al. *J. of Non-Crystalline Solids*. 2004, no. 11, pp. 1–10.
5. Widjaja E. J., Marks L. D. *Thin Solid Films*. 2002, vol. 420, 421, pp. 295–299.
6. Kang Y., Zhou C., Gong S., Xu H. *Vacuum*. 2005, no. 79, pp. 148–154.
7. Rudiger A., Koster U. *J. of Non-Crystalline Solids*. 1999, vol. 250–252, pp. 898–902.

Чугунов Денис Борисович

аспирант, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, г. Саранск,
ул. Большевикская, 68а)

E-mail: iman081@gmail.com

Chugunov Denis Borisovich

Postgraduate student, Ogarev
Mordovia State University
(68a Bolshevistskaya street,
Saransk, Russia)

Ключагина Алина Николаевна

инженер, лаборатория аналитической химии, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, г. Саранск,
ул. Большевикская, 68а)

E-mail: A_kluchagina@gmail.com

Kljuchagina Alina Nikolaevna

Engineer, laboratory of analytical chemistry,
Ogarev Mordovia State University
(68a Bolshevistskaya street, Saransk,
Russia)

Осипов Анатолий Константинович

кандидат химических наук, доцент,
заведующий кафедрой аналитической химии, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева
(Россия, г. Саранск,
ул. Большевикская, 68а)

E-mail: osipov.ak@mail.ru

Osipov Anatolij Konstantinovich

Candidate of chemical sciences, associate
professor, head of sub-department
of analytical chemistry, Ogarev
Mordovia State University
(68a Bolshevistskaya street,
Saransk, Russia)

Мешков Леонид Леонидович

доктор химических наук, профессор,
кафедра общей химии, Московский
государственный университет
им. М. В. Ломоносова
(Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1)

E-mail: lmesh@mail.ru

Meshkov Leonid Leonidovich

Doctor of chemical sciences, professor,
sub-department of general chemistry,
Lomonosov Moscow State University
(1 Leninskie gory street, Moscow, Russia)

УДК 546.05:54-19:[546.62+546.56+546.72+ 546.762]

Чугунов, Д. Б.

Анодное поведение сплавов системы Al–Cu–Fe–Cr в кислых и нейтральных средах / Д. Б. Чугунов, А. Н. Ключагина, А. К. Осипов, Л. Л. Мешков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 51–58.

А. В. Нуштаева

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ ГЕКСИЛАМИН – ВОДА

Аннотация.

Актуальность и цели. Для того чтобы оценить роль, которую играет гексил-амин в стабилизации эмульсий и пен, необходимо знать, в каком состоянии – растворенном или дисперсном – он находится в водной фазе. С целью исследования дисперсности гексиламина был проведен фотометрический анализ системы гексиламин – вода.

Материалы и методы. Исследовалась бинарная система гексиламин – вода, полученная при встряхивании компонентов. Молярная концентрация гексиламина в смеси составляла от 0,003 до 0,151 моль/л. Размер капель гексиламина рассчитывали по характеристической мутности, определяемой турбидиметрическим методом анализа.

Результаты. Увеличение мутности системы с ростом концентрации было связано только с увеличением числа капель в единице объема, а сам радиус капель независимо от концентрации оставался постоянным. Среднее значение радиуса капель составило $R = 45$ нм. При отстаивании мутность понижалась вследствие постепенного выделения гексиламина в отдельную макрофазу. Роль гексиламина в эмульгирующей смеси с кремнеземом, видимо, не только в гидрофобизации поверхности SiO_2 . Поскольку радиус агрегатов твердых частиц кремнезема составил 38 нм (аэросил) и 22 нм (людокс), то предполагается, что при высокой концентрации капли гексиламина образуют с частицами кремнезема гибридные агрегаты, стабилизирующие эмульсии обратного типа.

Выводы. Турбидиметрический анализ показал, что бинарная система, полученная смешиванием гексиламина с водой, представляет собой термодинамически неустойчивую наноземлю, размер капель которой не зависит от концентрации гексиламина.

Ключевые слова: гексиламин, наноземлю, турбидиметрический анализ.

А. В. Nushtaeva

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF THE BINARY SYSTEM OF HEXYLAMINE – WATER

Abstract.

Background. In order to estimate the role of hexylamine to stabilize emulsions and foams, it is necessary to know in what state – dissolved or dispersed – it remains in the aqueous phase. Photometric analysis of hexylamine – water system was carried out.

Materials and methods. The author researched the binary system of hexylamine – water, obtained by shaking the components. The molar concentration of hexylamine in the mixture varied from 0,003 to 0,151 mol/L. Hexylamine droplet size was calculated from the characteristic turbidity determined by the turbidimetric method of analysis.

Results. The increase in turbidity as the concentration of the system was associated only with a number of drops per volume unit, and the radius of the droplet regardless of the concentration remained constant. The average value of the droplet radius was equal to $R = 45$ nm. At upholding the turbidity decreased due to the gradual release of hexylamine in a separate bulk phase. The role of hexylamine in the emulsifying complex consisted, apparently, not only in hydrophobization of the sili-

ca surface. Since the radius of the aggregates of solid particles of silica was equal to 38 nm (Aerosil) and 22 nm (Ludox), it is assumed that at high concentration of hexylamine the drops and silica particles formed hybrid aggregates, stabilizing emulsions of reverse type.

Conclusions. The turbidimetric analysis showed that the binary system obtained by mixing of water with hexylamine, appears to be a thermodynamically unstable nanoemulsion, the droplet size of which is independent of the concentration of hexylamine.

Key words: hexylamine, nanoemulsion, turbidimetric analysis.

Введение

Гексиламин (1-гексанамин, или 1-аминогексан, $C_6H_{13}NH_2$) относится к органическим основаниям и при растворении в воде образует катион $[C_6H_{13}NH_3]^+$. Как короткоцепочное катионное поверхностно-активное вещество (ПАВ) гексиламин применяется совместно с коллоидными частицами кремнезема в качестве ко-стабилизатора дисперсных систем с жидкой дисперсионной средой [1–11]. Для получения эмульсий и пен авторы использовали систему кремнезем – гексиламин – вода с различной концентрацией компонентов. Добавление гексиламина вызывало коагуляцию и осаждение кремнезема. При увеличении концентрации гексиламина в водной фазе наблюдалось появление мутности, связанное с малой растворимостью гексиламина [5–7].

Для того чтобы оценить, какое значение имеет гексиламин для стабилизации эмульсий и пен, необходимо знать, в каком состоянии – растворенном или дисперсном – он присутствует в водной фазе.

Известно, что только низшие амины с длиной цепи до $n_C = 4$ растворяются в воде. При увеличении длины цепи их растворимость уменьшается. Известно, что гексиламин плохо растворим в воде [12, 13]. Однако конкретных данных о растворимости гексиламина в литературе мы не обнаружили.

С целью исследования дисперсности гексиламина в водной фазе в области применяемых в [5–7] концентраций был проведен фотометрический анализ системы гексиламин – дистиллированная вода.

1. Материалы и методы исследования

Исследовалась бинарная система гексиламин – вода.

Гексиламин (Merck) добавляли по каплям в дистиллированную воду, затем слегка встряхивали. Количество гексиламина составило от 1 капли ($C_{hex} = 0,003$ моль/л) до 1 мл ($C_{hex} = 0,151$ моль/л) на 50 мл воды.

Молярную концентрацию гексиламина (с плотностью $0,766$ г/см³ и молярной массой $101,19$ г/моль) в системе рассчитывали по формуле

$$C = \frac{0,766V}{101,19 \cdot 0,05},$$

где V – объем гексиламина в см³. Поскольку объем добавленного гексиламина не превышал 1 мл на 50 мл воды, за объем всей системы принимали объем воды.

Тогда объемная доля гексиламина

$$C_{vol} = \frac{V}{50}.$$

Определение размеров капель гексиламина по характеристической мутности. Система гексиламин – вода представляет собой бесцветную мутную среду, поэтому можно считать, что ослабление проходящего света происходит только вследствие рассеяния (так же, как и в случае бесцветных золь неметаллов).

Сразу после перемешивания жидкость наливали в кварцевую кювету и измеряли ее оптическую плотность D турбидиметрическим методом на фотометре КФК-3 при значении аналитической длины волны падающего света $\lambda = 340$ нм и рабочей длине кюветы $L = 3,011$ см.

Значение аналитической длины волны $\lambda = 340$ нм было выбрано по максимуму оптической плотности.

Мутность среды (или коэффициент экстинкции) τ и характеристическую мутность $[\tau]$ рассчитывали по формулам [14]

$$\tau = \frac{2,303D}{L};$$

$$[\tau] = \frac{\tau}{C_{vol}},$$

где C_{vol} – это объемная доля гексиламина в воде.

Затем рассчитывали параметр α , учитывающий соотношение между показателями преломления частицы и среды:

$$\alpha = \frac{3}{4\pi} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|,$$

где $m = n_d / n_{H_2O}$ – отношение показателя преломления частицы n_d к показателю преломления среды $n_{H_2O} = 1,333$ [15]. За величину n_d принят показатель преломления гексана, равный $n_d = 1,3751$ [15]. Тогда параметр α равен 0,005.

Из значений $[\tau]$ и α рассчитывается величина $\varphi(z)$ [14]:

$$\varphi(z) = \frac{[\tau]\lambda}{\alpha^2},$$

или $\varphi(z) = 1,36[\varphi]$ для $\lambda = 340$ нм.

В работе [14] содержится таблица значений функции $\varphi(z)$. В данной таблице мы находили теоретическое значение $\varphi(z)_{\text{теор}}$, ближайшее к найденному экспериментально $\varphi(z)_{\text{опыт}}$, и рассчитывали z по формуле

$$z_{\text{опыт}} = \frac{\varphi(z)_{\text{опыт}} z_{\text{теор}}}{\varphi(z)_{\text{теор}}}.$$

Радиус капель дисперсной фазы (в данном случае гексиламина) равен

$$R = \frac{z\lambda}{8\pi}.$$

2. Результаты и обсуждение

Мутность τ системы гексиламин – дистиллированная вода составила от 0,067 до 1,635 см^{-1} в зависимости от концентрации гексиламина. Мутность порядка $\tau \sim 0,25\text{--}0,26 \text{ см}^{-1}$ (при $C_{\text{hex}} = 0,03\text{--}0,05$ моль/л) была визуально заметной. Наблюдался линейный рост мутности системы при увеличении концентрации (рис. 1).

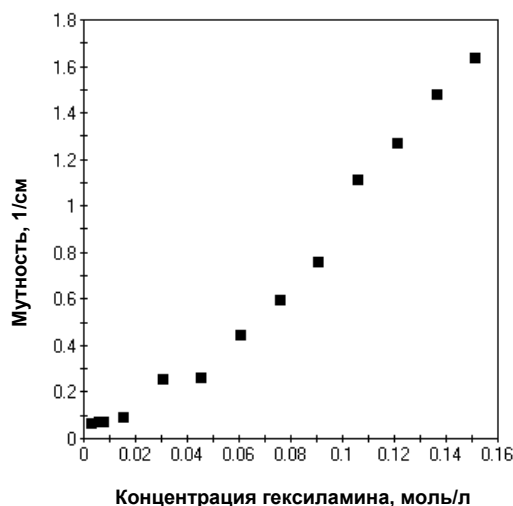


Рис. 1. Зависимость коэффициента экстинкции τ (мутности) бинарной системы гексиламин – вода от молярной концентрации гексиламина

Однако расчет характеристической мутности $[\tau]$ и соответствующего ей радиуса капель R показал, что увеличение мутности системы было связано только с ростом концентрации. Независимо от концентрации радиус капель оставался постоянным (рис. 2). Среднее значение радиуса капель составило $R = 45 \pm 8$ нм.

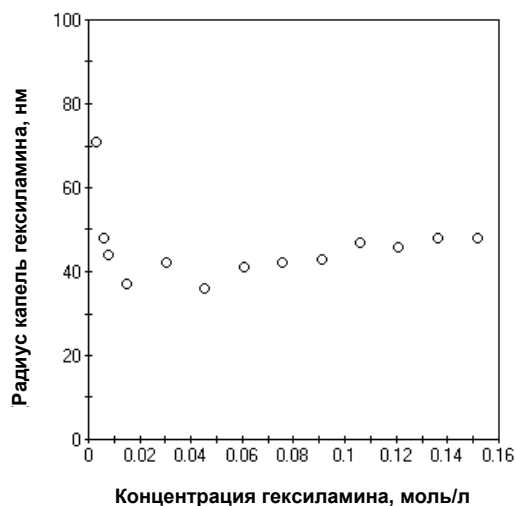


Рис. 2. Значения радиуса капель гексиламина в водной фазе в зависимости от концентрации гексиламина

Таким образом, система гексиламин – вода представляет собой нано-эмульсию (или коллоидный раствор) при концентрации от 0,003 моль/л (1 капля на 50 мл воды). Но эта система неустойчива в отличие от описанных в литературе [16–18] настоящих термодинамически устойчивых наноэмульсий, которые формируются при очень малом межфазном натяжении двух не-растворимых жидкостей – порядка 10^{-2} – 10^{-5} мН/м [16]. Термодинамическая неустойчивость наноэмульсии гексиламина в воде (большим значением межфазного натяжения на границе гексиламин – вода) – порядка 50 мН/м по данным [4].

При отстаивании мутность системы гексиламин – вода понижалась вследствие постепенного выделения гексиламина в отдельную макрофазу, которая через 24 ч просматривалась на поверхности воды при концентрации от $C_{hex} = 0,151$ моль/л и выше. Например, на рис. 3 показано изменение мутности системы с концентрацией $C_{hex} = 0,151$ моль/л, наблюдавшееся в течение 35 мин. Надо полагать, что уменьшение величины τ во времени было связано с уменьшением числа капель гексиламина в единице объема водной фазы, а не с изменением размера капель.

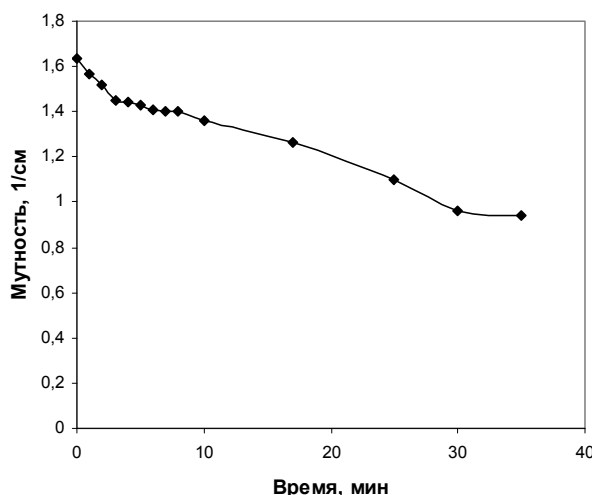


Рис. 3. Изменение мутности системы гексиламин – вода при отстаивании

Как уже было отмечено, гексиламин применялся вместе с кремнеземом для совместной стабилизации эмульсий и пен. При этом радиус агрегатов твердых частиц кремнезема, найденный также турбидиметрически, составил 38 ± 5 нм для аэросила марки А-380 [7] или 22 ± 5 нм для золя SiO_2 марки Ludox-HS40 (Merck). Таким образом, капля гексиламина в воде имеет размер, схожий с размером агрегатов кремнезема.

Таким образом, роль гексиламина, видимо, не только в гидрофобизации поверхности SiO_2 . При высокой концентрации этот ПАВ является равнозначным ко-стабилизатором. Можно предположить, что твердые частицы образуют ядро, а гексиламин – оболочку, примерно равную ядру по объему. Согласно расчетам из твердых частиц радиусом 38 нм и капель такого же размера получится гибридная органо-неорганическая частица радиусом 52,5 нм. Фактически размер таких частиц может быть гораздо больше по причине агрегации.

Заключение

Таким образом, турбидиметрический анализ показал, что бинарная система, полученная смешиванием гексиламина с водой, представляет собой термодинамически неустойчивую наноэмульсию, размер капель которой не зависит от концентрации гексиламина. В тройной системе гексиламин – кремнезем – вода при большой концентрации гексиламина с кремнеземом образует гибридные органо-неорганические агрегаты.

Список литературы

1. **Gonzenbach, U. T.** Ultrastable particle-stabilised foams / U. T. Gonzenbach, R. R. Studart, E. Tervoort, L. J. Gauker // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* – 2006. – Vol. 43. – P. 3526–3530.
2. **Gonzenbach, U. T.** Stabilization of foams with inorganic colloidal particles / U. T. Gonzenbach, R. R. Studart, E. Tervoort, L. J. Gauker // *Langmuir*. – 2006. – Vol. 22. – P. 10983–10988.
3. **Kruglyakov, P. M.** About mechanism of foam stabilization by solid particles / P. M. Kruglyakov, S. I. Elaneva, N. G. Vilkova // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2011. – Vol. 165. – P. 108–118.
4. **Вилкова, Н. Г.** Стабилизация пен твердыми частицами: энергия закрепления частиц на межфазных поверхностях / Н. Г. Вилкова, С. И. Еланева, Н. В. Волкова, А. А. Шумкина // *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки*. – 2011. – № 25. – С. 679–683.
5. **Nushtaeva, A. V.** Properties of emulsion and free emulsion (aqueous) films stabilized with hexylamine-modified silica / A. V. Nushtaeva, A. A. Shumkina // *Colloid Journal*. – 2013. – Т. 75, № 3. – P. 326–332.
6. **Nushtaeva, A. V.** Contact angles of selective wetting of hexylamine-modified silica / A. V. Nushtaeva // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2014. – Vol. 451. – P. 101–106.
7. **Nushtaeva, A. V.** The effect of modifier concentration on the stability of emulsions and foams stabilized with colloidal silica particles / A. V. Nushtaeva, N. G. Vilkova, S. I. Mishina // *Colloid Journal*. – 2014. – Vol. 76, № 6. – P. 717–724.
8. **Нуштаева, А. В.** Стабилизация пен и эмульсий нерастворимыми порошками / А. В. Нуштаева, Н. Г. Вилкова, С. И. Еланева. – Пенза : ПГУАС, 2011. – 132 с.
9. **Нуштаева, А. В.** Эмульсии, стабилизированные твердыми частицами / А. В. Нуштаева. – М. : Инфра-М, 2014. – 160 с.
10. **Вилкова, Н. Г.** Влияние пониженного межфазного натяжения на свойства пен и эмульсий, стабилизированных твердыми частицами / Н. Г. Вилкова, А. В. Нуштаева // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2013. – № 1 (1). – С. 127–134.
11. **Вилкова, Н. Г.** Влияние электролита на агрегацию гидрофобизированных частиц кремнезема и изменение краевого угла / Н. Г. Вилкова, А. В. Нуштаева, Л. С. Горбунова // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2014. – № 1 (5). – С. 52–59.
12. Свойства органических соединений : справочник / под ред. А. А. Потехина. – Л. : Химия, 1984. – 193 с.
13. **Белоусов, В. П.** Тепловые свойства растворов неэлектролитов : справочник / В. П. Белоусов, А. Г. Морачевский, М. Ю. Панов. – Л. : Химия, 1981. – С. 20.
14. **Григоров, О. Н.** Руководство к практическим работам по коллоидной химии / О. Н. Григоров, И. Ф. Карпова, З. П. Козьмина, К. П. Тихомолова, Д. А. Фридрихсберг, Ю. М. Чернобережский. – М. : Химия, 1964. – 320 с.
15. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. – СПб. : Специальная литература, 1998. – 232 с.

16. **Tadros, Th. F., Vincent, B.** // *Encyclopedia of Emulsion Technology* / ed. P. Becher. – New York : Marcel Dekker, 1983. – Vol. 1. – P. 129.
17. **Mason, T. G.** Nanoemulsions: formation, structure and physical properties / T. G. Mason, J. N. Wilking, K. Meleson, C. B. Chang, S. M. Graves // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2006. – Vol. 18. – № 41. – P. 635.
18. **Shah, P.** Nanoemulsions: A pharmaceutical review / P. Shah, D. Bhalodia, P. Shelat // *Systematic Reviews in Pharmacy*. – 2010. – Vol. 1. – № 1. – P. 24–32.

References

1. Gonzenbach U. T., Studart R. R., Tervoort E., Gauker L. J. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2006, vol. 43, pp. 3526–3530.
2. Gonzenbach U. T., Studart R. R., Tervoort E., Gauker L. J. *Langmuir*. 2006, vol. 22, pp. 10983–10988.
3. Kruglyakov P. M., Elaneva S. I., Vilkova N. G. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2011, vol. 165, pp. 108–118.
4. Vilkova N. G., Elaneva S. I., Volkova N. V., Shumkina A. A. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural sciences]. 2011, no. 25, pp. 679–683.
5. Nushtaeva A. V., Shumkina A. A. *Colloid Journal*. 2013, vol. 75, no. 3, pp. 326–332.
6. Nushtaeva A. V. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014, vol. 451, pp. 101–106.
7. Nushtaeva A. V., Vilkova N. G., Mishina S. I. *Colloid Journal*. 2014, vol. 76, no. 6, pp. 717–724.
8. Nushtaeva A. V., Vilkova N. G., Elaneva S. I. *Stabilizatsiya pen i emul'siy nerastvorimymi poroshkami* [Stabilization of foams and emulsions by indissoluble powders]. Penza: PGUAS, 2011, 132 p.
9. Nushtaeva A. V. *Emul'sii, stabilizirovannye tverdymi chastitsami* [Emulsions stabilized by solid particles]. Moscow: Infra-M, 2014, 160 p.
10. Vilkova N. G., Nushtaeva A. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2013, no. 1 (1), pp. 127–134.
11. Vilkova N. G., Nushtaeva A. V., Gorbunova L. S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2014, no. 1 (5), pp. 52–59.
12. *Svoystva organicheskikh soedineniy: spravochnik* [Features of organic compounds: reference book]. Ed. by A. A. Potekhin. Leningrad: Khimiya, 1984, 193 p.
13. Belousov V. P., Morachevskiy A. G., Panov M. Yu. *Teplovyte svoystva rastvorov neelektrolitov: spravochnik* [Thermal features of non-electrolyte solutions: reference book]. Leningrad: Khimiya, 1981, p. 20.
14. Grigorov O. N., Karpova I. F., Koz'mina Z. P., Tikhomolova K. P., Fridrikhsberg D. A., Chernoberezhskiy Yu. M. *Rukovodstvo k prakticheskim rabotam po kolloidnoy khimii* [Guide on practical works on colloid chemistry]. Moscow: Khimiya, 1964, 320 p.
15. *Kratkiy spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin* [Brief reference book of physical and chemical quantities]. Ed. by A. A. Ravdelya, A. M. Ponomareva. Saint-Petersburg: Spetsial'naya literatura, 1998, 232 p.
16. Tadros Th. F., Vincent, B. *Encyclopedia of Emulsion Technology*. Ed. P. Becher. New York: Marcel Dekker, 1983, vol. 1, p. 129.
17. Mason T. G., Wilking J. N., Meleson K., Chang C. B., Graves S. M. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2006, vol. 18, no. 41, p. 635.
18. Shah P., Bhalodia D., Shelat P. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2010, vol. 1, no. 1, pp. 24–32.

Нуштаева Алла Владимировна

кандидат химических наук, доцент,
кафедра физики и химии, Пензенский
государственный университет
архитектуры и строительства
(Россия, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28)

E-mail: nushtaeva.alla@yandex.ru

Nushtaeva Alla Vladimirovna

Candidate of chemical sciences, associate
professor, sub-department of physics
and chemistry, Penza State University
of Architecture and Construction
(28 G. Titova street, Penza, Russia)

УДК 544.77.051.12

Нуштаева, А. В.

Фотометрический анализ бинарной системы гексиламин – вода /
А. В. Нуштаева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.
Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 59–66.

УДК 593.11

А. С. Уткина (Трулова), Ю. А. Мазей

ВИДОВОЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СООБЩЕСТВА РАКОВИННЫХ АМЕБ В НИКОЛЬСКОМ МОХОВОМ БОЛОТЕ (СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ)¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Целью работы явилось изучение видового разнообразия, структуры и основных закономерностей сезонных изменений сообществ раковинных амёб в Никольском сфагновом болоте, расположенном в Кузнецком районе Пензенской области.

Материалы и методы. Материал был отобран в течение двух вегетативных сезонов 2011–2012 гг. ежемесячно с мая по ноябрь в четырех биотопах: 1) зелёный мох, разросшийся между кочками осоки, на краю болота; 2) дно ручья, разделяющего краевое «низовое болото» от центрально расположенного «верхового болота»; 3) сфагновая кочка в центральной части; 4) сфагновая мочажина в центральной части.

Результаты. Обнаружено 119 видов и внутривидовых таксонов раковинных амёб, относящихся к 12 семействам. Все виды широко распространены и относятся к мохово-почвенной группировке. Плотность организмов изменяется от 1,1 до 14,7 тыс. экз./г. Видовой состав и структура сообщества раковинных амёб зависят от типа субстрата и степени его увлажнённости.

Выводы. С мая по ноябрь в сообществе раковинных амёб происходят структурные изменения, наиболее выраженные в сфагновой сплаvine и менее проявляемые в окружающей ее обводной канаве. Сезонные изменения обилия раковинок в биотопах верхового болота не связаны с уровнем увлажнённости субстрата, а в почвенно-моховых и детритных местообитаниях, как правило, возрастание численности корненожек следует за повышением уровня увлажнённости. На фоне изменений обилия организмов и видовой структуры сообщества интегральные показатели, оцененные индексами разнообразия Шеннона и выравнинности Пиелу, высоки и достоверно стабильны, что косвенно свидетельствует о сезонной устойчивости и насыщенности нишевой структуры локальных сообществ в исследованных биогеоценозах.

Ключевые слова: раковинные амёбы, структура сообщества, сезонная динамика, моховые болота, Среднее Поволжье.

A. S. Utkina (Trulova), Yu. A. Mazei

SPECIES COMPOSITION, STRUCTURE AND SEASONAL DYNAMICS OF TESTATE AMOEBA COMMUNITY IN NIKOLSKOYE BOG (MIDDLE VOLGA REGION)

Abstract.

Background. The aim of the study is to investigate species diversity, structure and seasonal dynamics of testate amoeba community in Nikolskoye bog, located in Kuznetsk District of Penza Region.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 14-14-00891).

Materials and methods. Materials were collected monthly from May to November during 2011–2012 within four biotopes: 1) green mosses, located between sedge tussocks in the edge zone; 2) bottom of the stream, divided fen in the edge and bog in the center; 3) Sphagnum hummock in the bog; 4) Sphagnum hollow in the bog.

Results. One hundred and nineteen testate amoeba taxa have been identified. All the taxa are wide spread and belong to the soil-moss ecological group. Abundance varied from 1,1 to 14,7 thousands of individuals per gram of absolutely dry substratum. Species composition and community structure related with the type of substratum and its moisture content.

Conclusions. The seasonal changes in community structure are more prominent in the bog than in the fen. The changes occurred in the bog are not connected with the variability of moisture content. Whereas in other biotopes there is a significant positive correlation between moisture and abundance. Despite of changes in community composition, the diversity indices (Shannon and Pielou) remain stable in the course of annual community development.

Key words: testate amoebae, community structure, seasonal dynamics, bog, peatland, Middle Volga Region.

Раковинные амебы – обитатели моховых болот – образуют сложные сообщества, характеризующиеся высоким видовым разнообразием и неоднородной пространственной структурой [1, 2]. Изучение этих организмов в последнее время вызывает огромный интерес в связи с их функциональной важностью как компонента микробной пищевой петли, обеспечивающей эффективность биогеохимических циклов [3–6], а также как биоиндикатора климатических изменений при проведении палеореконструкций и мониторинга современных процессов [7–11].

Исследования видового разнообразия и структуры сообщества являются базовыми при проведении дальнейших функциональных и биоиндикационных работ с использованием раковинных амеб. На территории Пензенской области мы начали изучать сообщества раковинных корненожек в сфагновых болотах в 2003 г. по материалам, отобраным на Иванырском, Качимском и Верховимском болотах [12]. Позже мы продолжили системные работы и описали разнообразие и структуру сообщества в следующих экосистемах: Безымянное болото [13], Верховимские болота [14], Ивановские болота [15], Качимское болото [16]; Кунчеровское болото [17, 18], Наскафтымское болото [19], Чибирлейское болото [20], Никольское болото [21], озеро Светлое [18, 22, 23], заболоченный лес в окрестностях пос. Леонидовка [24, 25], заболоченный лес в окрестностях пос. Сосновоборск [26]. При этом только в трех работах мы уделяли внимание сезонной изменчивости сообществ [13, 21, 25].

Вместе с тем сезонные изменения сообществ – обычное явление для большинства животных. Изучение сезонной динамики сообщества обычно подразумевает пространственно-временной анализ видового состава сообщества, доминирующего комплекса видов, общей численности организмов, наличия редких видов в сообществе, численности особей на разных стадиях жизненного цикла и т.п. Отличительная особенность сообществ простейших – сильная изменчивость видовой структуры в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, обусловленная микроскопическими размерами и высокой скоростью размножения организмов [27, 28]. За несколько теплых летних месяцев такие сообщества успевают пройти серию последовательных

преобразований в направлении сложности и упорядоченности структуры, отвечающих современному представлению о сукцессии и самоорганизации системы [29].

Динамические процессы в сообществах простейших проявляются в разных временных масштабах: это могут быть мелкомасштабные изменения, измеряемые часами и сутками, быстрые направленные сукцессии, протекающие в течение нескольких дней, сезонная динамика (месяцы) и многолетние изменения. В мелкомасштабных изменениях главную роль играют популяционные процессы, такие как скорость роста, миграции, а также мелкомасштабные изменения среды обитания. Быстрые направленные сукцессии характерны для протозооценозов в случаях появления свободных пространств, в которых начинается первичная сукцессия – колонизация [30–32], либо при появлении пятен с мертвым органическим веществом, где формируется деградиционная (гетеротрофная) сукцессия [33]. Многолетние изменения представляют собой межгодовые флуктуации, проявляющиеся в перекомбинации комплекса доминирующих видов (они связаны либо с климатическими различиями сезонов, либо с различным ходом начальных этапов самоорганизации), или направленные изменения, проявляющиеся в многолетней динамике комплекса массовых видов (связаны с направленными изменениями характеристик биотопа) [34]. И, наконец, сезонная динамика – последовательная необратимая и закономерная смена одного микробного сообщества другим на определенном участке среды во времени. Безусловно, сезонная динамика является центральным механизмом, обеспечивающим стабильность и лабильность протозооценоза. Процесс изучения сезонных перестроек сообществ простейших весьма трудоемкий, он требует учета множества факторов среды и регулярного отбора материала для исследования. Вероятно, с этим связано небольшое число публикаций, посвященных динамическим аспектам организации сообществ раковинных амёб [35–44], в том числе и выполненных в нашей группе [13, 21, 25, 45, 46]. Тем не менее этих данных остается недостаточно, чтобы выстроить полную картину представлений о сезонных модификациях ассоциаций корненожек в условиях умеренного климата. В связи с этим целью работы явилось изучение видового разнообразия, структуры и основных закономерностей сезонных изменений сообществ раковинных амёб в Никольском сфагновом болоте, расположенном в Кузнецком районе Пензенской области.

Материал и методика

Исследование проводили в сфагновом болоте, находящемся в окрестностях с. Никольское Кузнецкого района Пензенской области. Материал был отобран в течение двух вегетативных сезонов (2011–2012 гг.) в четырех биотопах (рис. 1). Два биотопа находились в краевой части болота (так называемое «низовое болото») и представляли собой мох, почву и донные осадки (листовой опад и крупный детрит) осушительной канавы, окружающей болото. Первый, условно названный МП, составляли зеленые мхи, разросшиеся между кочками осоки (субстрат – мох *Aulacomnium* sp., почва). На расстоянии около 15 м от станции МП находился второй биотоп Д, представляющий собой ручей, разделяющий низовое болото от верхового (субстрат – детрит со дна ручья). В пределах сфагновой сплавины «верхового болота» изучали так-

же два биотопа: СК – сфагновая кочка под комлем сосны и березы; М – мочажина (субстрат – мох сфагнум). Биотоп СК располагался в центральной части верхового болота, а М – в 15 м от него (табл. 1). На каждой станции исследовали три микробиотопа (впоследствии данные в повторностях усредняли).



Рис. 1. Сфагновое болото близ с. Никольское Кузнецкого района Пензенской области. Точками обозначены места отбора проб: СК – верховое болото, сфагновая кочка; М – верховое болото, мочажина; МП – низовое болото, мхи и почва; Д – низовое болото, детрит со дна ручья

Таблица 1

Характеристика мест отбора проб

Биотоп	Микробиотопы	Факторы среды	Обозначение
Низовое болото	Зеленые мхи между кочками осоки. Субстрат – мох <i>Aulacomnium</i> sp., почва	pH 4,6–5,3	МП
	Ручей, разделяющий низовое болото от верхового. Субстрат – детрит со дна ручья	pH 4,9–5,1	Д
Верховое болото	Сфагновая кочка под комлем молодой сосны и березы. Субстрат – мох сфагнум	pH 3,4–3,8	СК
	Мочажина. Субстрат – мох сфагнум	pH 3,3–3,5	М

Почвенный покров прилегающей к болоту местности представлен серыми и светло-серыми лесными почвами. Вокруг самого болота почва торфянисто-глеевая маломощная. Древесный ярус окружающих болото лесов образован березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), елью обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst), липой европейской (*Tilia europaea* L.), орешником (*Corylus avellana* L.). Моховое болото формируют несколько видов сфагнума (*Sphagnum* spp.), аулакомниум (*Aulacomnium* spp.), разнообразные осоковые (пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), широколистная (*E. latifolium* L.), осоки волосистоплодная (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), омская (*C. omskiana* Meinsch), топяная (*C. limosa* L.), береговая (*C. riparia* L.) и др.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* Cav.) и др. Встречаются и редкие для области растения: росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), режее – английская (*D. anglica* Huds.), клюква бо-

лотная (*Oxycoccus palustris* Pers), мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata* L.), шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris* L.), андромеда многолистная (*Andromeda polifolia* L.).

Лабораторную обработку проб осуществляли по стандартным прото-зоологическим методикам. Подсчет раковинных амёб проводили в водных суспензиях, с использованием микроскопа Микмед-5 при увеличении $\times 200$. При проведении количественных учетов просчитывали не менее 150 экземпляров в каждом образце. Полученные величины численности пересчитывали на 1 г абсолютно сухого субстрата.

Классификацию сообществ осуществляли с помощью иерархического кластерного анализа методом среднего присоединения на основе матрицы индексов сходства Раупа – Крика (по данным о присутствии/отсутствии видов), Мориситы (по данным об относительных обилиях видов). Для выявления типов сообществ, отличающихся структурой и формирующихся на разных станциях, проводили ординацию видов методом анализа соответствия или анализа главных компонент на основе величин относительных обилий видов. Для оценки достоверности различий в видовом богатстве, численности и биомассе между объектами использовали критерий Манна – Уитни с поправкой Бонферрони к уровням значимости для множественных сравнений [47]. Статистическую обработку данных производили с помощью пакета программ MS Excel (Microsoft Excel, 2010), PAST 2.17 [48].

Результаты

Видовой состав и структура сообществ. За весь период исследования в сфагновом болоте в окрестностях с. Никольское Пензенской области обнаружено 119 видов и внутривидовых таксонов раковинных амёб, относящихся к 12 семействам (табл. 2). В составе населения корненожек преобладали представители семейств Nealospheniidae, Nebelidae, Trinematidae и Euglyphidae. В первый год исследования (2011) доминировали 13 семейств, во второй (2012) – только семь. Доминирующим считали вид, относительные обилия которого превышали 5 % от общей численности видов в пробе.

Таблица 2

Видовой состав и относительное обилие массовых
(более 3 % от общей численности) видов раковинных амёб
в изучаемом болоте

Таксон	СК	М	МП	Д
1	2	3	4	5
AMOEBOZOA Lühe, 1913, emend. Cavalier-Smith, 1998				
*** Arcellinida Kent, 1880				
**** Arcellidae Ehrenberg, 1832				
***** Arcella Ehrenberg, 1830				
<i>A. arenaria</i> Greeff, 1866	+	+	+	+
<i>A. a. compressa</i> Chardez, 1974	+	–	+	+
<i>A. catinus</i> Penard, 1890	+	+	+	+
<i>A. conica</i> Deflandre, 1928	+	+	+	+

1	2	3	4	5
<i>A. dentata cashiana</i> Ehrenberg, 1843	–	–	+	–
<i>A. discoides</i> Ehrenberg, 1843	+	–	+	+
<i>A. d. foveosa</i> Playfair, 1918	+	+	+	+
<i>A. d. scutelliformis</i> Playfair, 1918	–	+	+	–
<i>A. hemisphaerica</i> Perty, 1852	–	–	+	+
<i>A. gibbosa</i> Penard, 1890	–	+	+	+
<i>A. polypora</i> Penard, 1890	–	–	+	+
<i>A. rotundata</i> Playfair, 1918	–	–	+	4,3
<i>A. r. alta</i> Playfair, 1918	–	–	+	+
<i>A. r. stenostoma undulata</i> Deflandre, 1928	–	–	+	+
<i>A. vulgaris</i> Ehrenberg, 1830	+	+	+	+
<i>A. v. penardi</i> Deflandre, 1928	–	–	–	+
<i>A. v. undulata</i> Deflandre, 1928	+	+	+	+
**** Centropyxidae Jung, 1942				
***** Centropyxis Stein, 1857				
<i>C. aculeata</i> (Ehrenberg, 1838) Stein, 1857	+	+	+	6,8
<i>C. a. oblonga</i> Deflandre, 1929	–	+	+	+
<i>C. aerophila</i> Deflandre, 1929	+	–	+	+
<i>C. a. sphagnicola</i> Deflandre, 1929	+	+	5,1	+
<i>C. cassis</i> (Wallich, 1864) Deflandre, 1929	+	+	3,3	+
<i>C. cassis spinifera</i> (Playfair, 1918) Deflandre, 1929	–	–	+	+
<i>C. discoides</i> (Penard, 1890) Deflandre, 1929	–	–	+	+
<i>C. ecornis</i> (Ehrenberg, 1841) Leidy, 1879	+	–	+	+
<i>C. elongata</i> (Penard, 1890) Thomas, 1959	+	–	+	+
<i>C. gibba</i> Deflandre, 1929	–	–	+	+
<i>C. laevigata</i> Penard, 1890	–	+	+	+
<i>C. minuta</i> Deflandre, 1929	+	+	+	+
<i>C. orbicularis</i> Deflandre, 1929	4,9	3,7	+	+
<i>C. platystoma</i> (Penard, 1890) Deflandre, 1929	+	+	+	+
<i>C. sylvatica</i> (Deflandre, 1929) Bonnet et Thomas, 1955	+	+	3,9	+
<i>C. s. minor</i> Bonnet et Thomas, 1955	–	+	+	+
***** Oopyxis Jung, 1942				
<i>O. cophostoma</i> Jung, 1942	–	–	–	+
***** Cyclopyxis Deflandre, 1929				
<i>C. aplanata</i> (Penard, 1911) Deflandre, 1929	–	+	+	+
<i>C. eurystoma</i> Deflandre, 1929	+	+	+	+
<i>C. kahli</i> Deflandre, 1929	–	–	+	+
***** Trigonopyxis Penard, 1912				
<i>T. arcula</i> Leidy, 1879	+	+	+	+
<i>T. minuta</i> Schönborn et Peschke, 1988	+	–	+	+
**** Plagiopyxidae Bonnet et Thomas, 1960				
***** Plagiopyxis Penard, 1910				
<i>P. callida</i> Penard, 1910	+	+	+	+

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
<i>P. declivis</i> Thomas, 1958	+	–	+	+
<i>P. labiata</i> Penard, 1910	–	–	+	+
**** Difflogiidae Wallich, 1864				
***** Cucurbitella Penard, 1902				
<i>C. mespiliformis</i> Penard, 1902	–	–	–	+
***** Lagenodifflogia Mediolli et Scott, 1983				
<i>L. vas</i> (Leidy, 1974) Mediolli et Scott, 1983	–	–	+	+
***** Schwabia Jung, 1942				
<i>S. terricola</i> Bonnet, & Thomas, 1955	–	–	–	+
***** Zivkovicia Ogden, 1987				
<i>Z. spectabilis</i> (Penard, 1902) Ogden, 1987	–	–	+	+
***** Difflogia Leclerc, 1815				
<i>D. acuminata</i> Ehrenberg, 1838	–	–	+	+
<i>D. amphoralis</i> Cash, Hopkinson, 1909	–	–	–	+
<i>D. angulostoma</i> Gauthier-Lièvre et Thomas, 1918	–	–	–	+
<i>D. capreolata</i> Penard, 1902	–	–	–	+
<i>D. claviformis</i> Penard, 1899	–	–	+	+
<i>D. elegans</i> Penard, 1890	–	–	+	3,0
<i>D. globulosa</i> Dujardin, 1937	–	–	+	+
<i>D. gramen</i> Penard, 1902	–	–	+	+
<i>D. oblonga</i> Ehrenberg, 1838	–	+	+	4,0
<i>D. o. angusticollis</i> Štěpánek, 1952	–	–	+	+
<i>D. parva</i> (Thomas, 1955) Ogden, 1983	–	–	+	+
<i>D. penardi</i> Hopkinson, 1909	–	+	+	+
<i>D. petricola</i> Cash, 1909	–	–	+	+
<i>D. pyriformis</i> Perty, 1849	–	–	+	+
<i>D. rubescens brevicollis</i> Penard, 1891	–	–	+	+
**** Lesquereusiidae Ogden, 1979				
***** Lesquereusia Schlumberger, 1845				
<i>L. modesta</i> Rhumbler, 1895	–	–	+	+
<i>L. spiralis</i> (Ehrenberg, 1840) Bütschli, 1888	–	–	+	+
**** Heleoperidae Jung, 1942				
***** Heleopera Leidy, 1879				
<i>H. sphagni</i> Leidy, 1879	+	12,1	+	+
<i>H. sylvatica</i> Penard, 1890	+	+	+	+
**** Hyalospheniidae Schultze, 1877				
***** Hyalosphenia (Stein, 1857) Schulze, 1877				
<i>H. elegans</i> Leidy, 1879	17,6	17,4	+	–
<i>H. papilio</i> Leidy, 1879	8,1	20,4	–	+
**** Nebelidae Taraneck, 1882				
***** Nebela Leidy, 1874				
<i>N. carinata</i> (Archer, 1867) Leidy, 1879	–	+	+	+
<i>N. collaris</i> (Ehrenberg, 1848) Leidy, 1879	–	–	–	+

1	2	3	4	5
<i>N. (Argynnia) dentistoma</i> Penard, 1890	+	+	+	+
<i>N. d. lacustris</i> Wailes, 1912	–	+	+	–
<i>N. d. laevis</i> Hopkinson, 1908	–	–	+	–
<i>N. (Physochilla) griseola</i> Penard, 1911	7,5	14,8	+	–
<i>N. marginata</i> Penard, 1902	–	+	–	–
<i>N. militaris</i> Penard, 1902	–	–	+	–
<i>N. parvula</i> Cash, 1909	5,6	3,5	+	–
<i>N. tincta</i> Leidy, 1879	+	+	–	–
**** Phryganellidae Jung, 1942				
***** Phryganella Penard, 1902				
<i>Ph. acropodia</i> (Hertwig et Lesser, 1874) Hopkinson, 1909	+	+	+	+
<i>Ph. acropodia</i> v. <i>penardi</i> Decloitre, 1955	–	–	–	+
<i>Ph. hemisphaerica</i> Penard, 1902	+	+	+	+
RHIZARIA Cavalier – Smith, 2002				
**** Euglyphidae Wallich, 1864				
***** Assulina Leidy, 1879				
<i>A. muscorum</i> Greeff, 1888	15,7	6,1	+	+
<i>A. seminulum</i> (Ehrenberg, 1848) Leidy, 1879	+	+	–	–
<i>A. scandinavica</i> Penard, 1890	+	+	–	–
***** Euglypha Dujardin, 1841				
<i>E. anodonta</i> Bonnet, 1960	+	+	+	+
<i>E. anodonta magna</i> Schönborn, 1964	+	+	+	–
<i>E. capsiosa</i> Coûteaux, 1978	+	–	+	–
<i>E. ciliata</i> Wailes, 1915	+	+	+	+
<i>E. c. glabra</i> Wailes, 1915	+	+	+	+
<i>E. compressa</i> Carter, 1864	+	4,1	+	+
<i>E. compressa glabra</i> Wailes, 1915	+	3,7	+	+
<i>E. cristata</i> Leidy, 1879	–	+	+	+
<i>E. cristata decora</i> Jung, 1942	+	–	+	+
<i>E. denticulata</i> Brown, 1912	+	+	+	+
<i>E. filifera spinosa</i> Wailes, 1912	–	–	+	+
<i>E. laevis</i> Perty, 1849	+	+	3,3	+
<i>E. marginata</i> Van Oye, 1958	+	–	+	–
<i>E. rotunda</i> Wailes, 1915	12,4	+	14,6	5,9
<i>E. r. dorsalis</i> Decloitre, 1969	+	–	+	–
<i>E. r. obliqua</i> Decloitre, 1956	–	–	–	+
<i>E. simplex</i> Decloitre, 1965	+	+	+	–
<i>E. strigosa</i> Leidy, 1878	+	+	+	+
<i>E. s. glabra</i> Wailes, 1898	+	+	+	+
<i>E. tuberculata</i> Dujardin, 1841	+	+	+	+
<i>E. t. curvata</i> Vucetich, 1973	–	–	+	–
<i>E. t. minor</i> Taránek, 1882	+	–	–	–
<i>E. t. ovoidea</i> Decloitre, 1955	+	–	–	–

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
***** <i>Sphenoderia</i> Schlumberger, 1845				
<i>S. lenta</i> Schlumberger, 1845	+	+	+	+
***** <i>Tracheleuglypha</i> Deflandre, 1928				
<i>T. dentata</i> Deflandre, 1938	+	+	7,2	+
**** <i>Trinematidae</i> Hoogenraad et de Groot, 1940				
***** <i>Corythion</i> Taranek, 1881				
<i>C. dubium</i> Taranek, 1881	3,4	+	+	+
<i>C. orbicularis</i> (Penard, 1910) Iudina, 1996	+	+	+	–
***** <i>Trinema</i> Dujardin, 1841				
<i>T. complanatum</i> Penard, 1890	+	+	+	4,0
<i>T. enchelys</i> (Ehrenberg, 1838) Leidy, 1878	+	+	5,4	3,3
<i>T. leidy</i> Chardez, 1981	–	–	+	–
<i>T. lineare</i> Penard, 1890	+	+	22,1	25,6
<i>T. l. truncatum</i> Chardez, 1964	+	+	+	+
<i>T. penardi</i> Thomas et Chardez, 1958	+	–	+	+
***** <i>Archerella</i> Loeblich et Tappan, 1961				
<i>A. flavum</i> Archer, 1877	+	+	+	+
***** <i>Paramphitrema</i> Valkanov, 1970				
<i>P. pontica</i> Valkanov, 1970	+	–	–	–
**** <i>Incertae sedis</i> Cercozoa:				
<i>Pseudodifflugidae</i> de Saedeleer, 1934				
***** <i>Pseudodifflugia</i> Schlumberger, 1845				
<i>P. gracilis</i> Schlumberger, 1845	–	–	+	–

Показатели видового разнообразия, оцененные индексами Шеннона и Пиелу, изменялись недостоверно в течение сезона. Минимальные и максимальные значения индекса Шеннона были зафиксированы в биотопах обводной канавы (Д – 2,42 в 2011; 2,04 в 2012). Индекс Пиелу изменялся в диапазоне от 0,45 (МП) до 0,67 (Д).

Общее количество видов в отдельном местообитании изменялось от 10 (низовое болото – Д) до 34 (верховое болото – СК) (рис. 2). Максимальная численность корненожек отмечена в сообществе верхового болота (М) – 8,0–14,7 тыс. экз./г, минимальная – в низовом болоте (МП) – 0,7–1,1 тыс. экз./г. В целом достоверно более низкое обилие раковинок в биотопах низового болота связано с существенно более низкой увлажненностью местообитаний и преимущественно почвенной составляющей субстрата (рис. 3).

Результаты классификации сообществ корненожек по видовой структуре показали, что локальные сообщества раковинных амёб типологически четко соответствуют биотопам, в которых они формируются (рис. 4). В сфагновых местообитаниях (СК, М) преобладают обычные бриобионтные и эврибионтные виды: *Arcella catinus*, *Assulina muscorum*, *A. seminulum*, *Euglypha laevis*, *E. rotunda*, *Heleopera sphagni*, *Hyalosphenia elegans*, *H. papilio*, *Nebela dentistoma*, *N. griseola*, *N. parvula*. В пределах обводной канавы (МП, Д) видовой комплекс корненожек представлен почвообитающими, бриобионтными и гидрофильными формами: *Arcella discoides*, *Centropyxis sylvatica*, *C. cassis*,

C. aculeata, *C. laevigata*, *Diffugia oblonga*, *D. penardi*, *D. claviformis*, *D. elegans*, *Tracheleuglypha dentata*, *Trigonopyxis minuta*, *Trinema enchelys*, *T. lineare*.

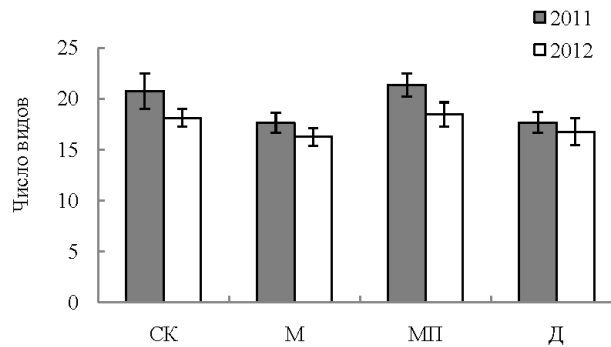


Рис. 2. Среднее количество видов в пробе на разных станциях за 2011–2012 гг.
Планки погрешностей – ошибка средней

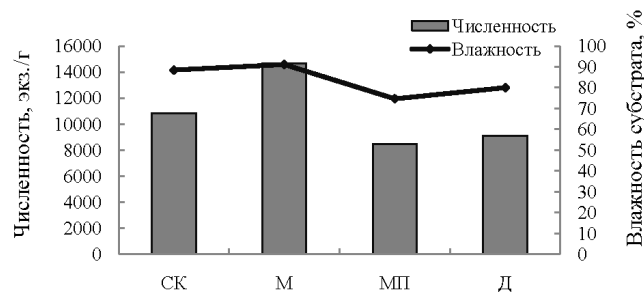


Рис. 3. Обилие ракушек и влажность субстрата
в разных типах биотопов ($R_s = 0,94$; $p < 0,05$)

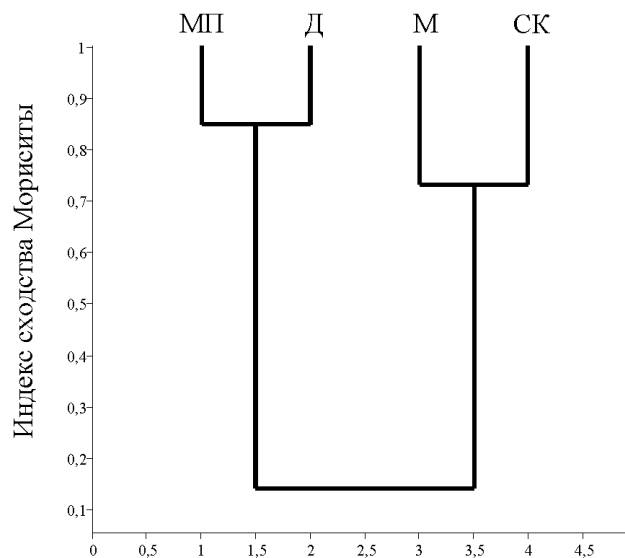


Рис. 4. Результаты классификации локальных сообществ с помощью кластерного анализа по видовой структуре: СК – верховое болото, сфагновая кочка; М – верховое болото, мочажина; МП – низовое болото, зеленые мхи; Д – низовое болото, детрит со дна ручья

Чтобы связать наблюдаемые различия с видовым составом, провели ординацию видов методом анализа главных компонент (рис. 5). Основываясь на результатах анализа, можно выделить следующие группы видов. Группа эврибионтов (обитают в детритных осадках и в почвенно-моховых сообществах – станции МП и Д) – вид *Trinema lineare*, *Euglypha rotunda*, *Tracheleuglypha dentata*. Группа сфагнофилов (обитают только в типичных сфагновых биотопах – станции СК и М) *Heleopera sphagni*, *Nebela griseola*, *Hyalosphenia papilio*, *H. elegans*, *Assulina muscorum*. Причем среди группы сфагнобионтов можно выделить подгруппу гигрофилов – *Heleopera sphagni*, *Nebela griseola*, *Hyalosphenia papilio* (которые преобладали на переувлажненной станции М). Вид *Assulina muscorum* доминировал на умеренно увлажненной станции СК, а *Hyalosphenia elegans* – на обеих станциях (СК, М).

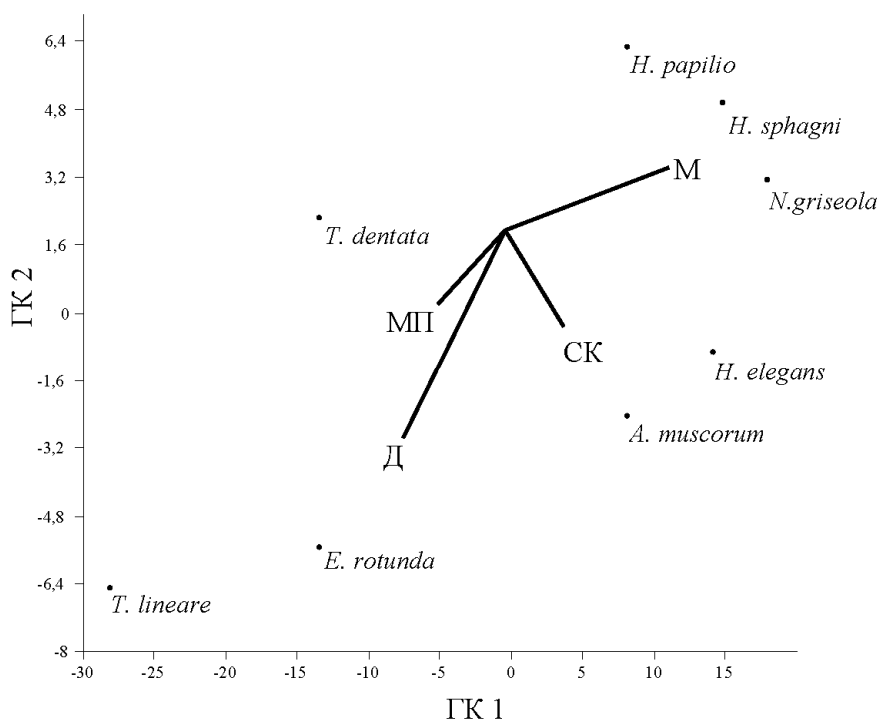


Рис. 5. Результаты ординации доминирующих видов методом анализа главных компонент: ГК1 – первая главная компонента (объясняет 71,6 % общей дисперсии видового состава); ГК2 – вторая главная компонента (объясняет 14,7 %)

Таким образом, наши исследования подтверждают вывод о том, что специфика видовой структуры сообществ раковинных амёб определяется типом субстрата и его увлажненностью. Влажность субстрата также определяет формирование обилия и видового богатства в локальных сообществах раковинных корненожек. При этом параметры видового разнообразия сохраняются на одном уровне во всех типах местообитаний. В некоторых работах, посвященных исследованию пространственной структуры сообществ корненожек, показатели видового разнообразия также изменяются в небольших пределах, несмотря на значительное варьирование абиотических факторов среды [24].

Сезонная динамика сообществ. Пробы для изучения сезонных изменений отбирали с мая по ноябрь один раз в месяц с равными интервалами в течение вегетативных сезонов 2011–2012 гг. Влажность субстрата в течение двух сезонов изменялась в исследуемых биотопах скачкообразно, особенно заметно значительное снижение влажности на станции МП в июле 2011 и 2012 гг., связанное с пересыханием этого участка (рис. 6,а). Уровень грунтовых вод в моховых биотопах (СК, М) в течение сезона изменялся циклически, но на станции М (мочажина) этот показатель снижался в течение всего сезона и в октябре достиг минимальной отметки (рис. 6,б).

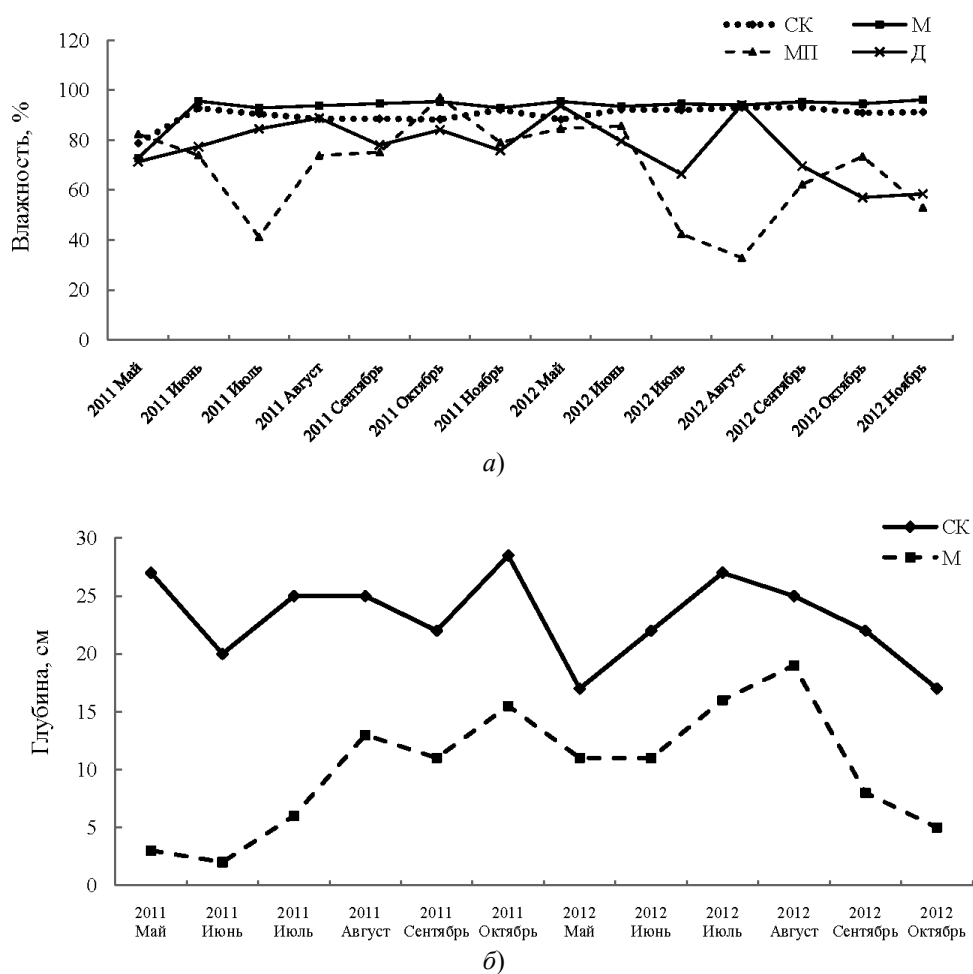
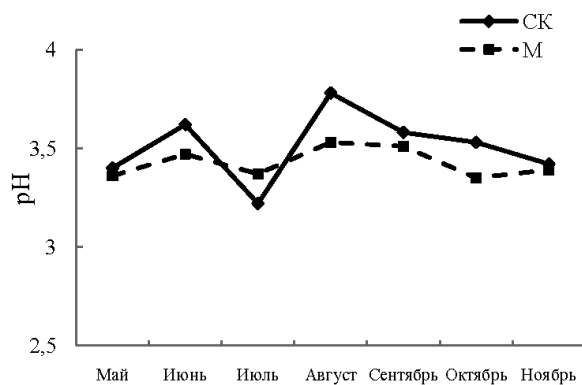
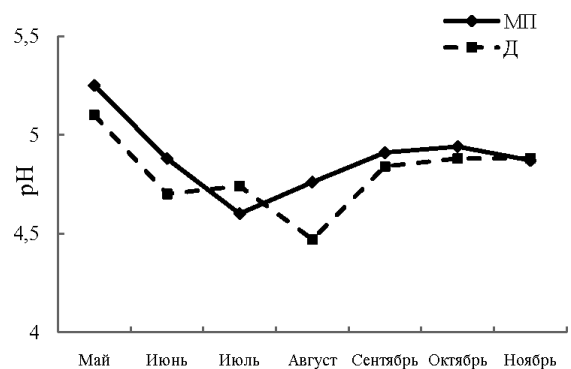


Рис. 6. Изменение факторов среды в течение сезона: а – влажность субстрата в разных типах биотопов (%); б – глубина залегания грунтовых вод в моховых биотопах (см)

В течение изучаемого периода кислотность среды изменялась циклически. В сфагновых биотопах станций СК, М (рис. 7,а) наблюдается минимальное значение рН в июле, максимумы – в июне и августе. На станциях низового болота (рис. 7,б) минимум рН приходится на июль (МП) и август (Д). Максимум отмечен в мае.



a)



b)

Рис. 7. Изменение кислотности среды в течение сезона 2012 г.:
а – станция СК, М; б – станция МП, Д

Установлено, что в течение сезона видовое богатство, видовое разнообразие и выравненность распределения, колеблясь, изменяются недостоверно (рис. 8, 9).

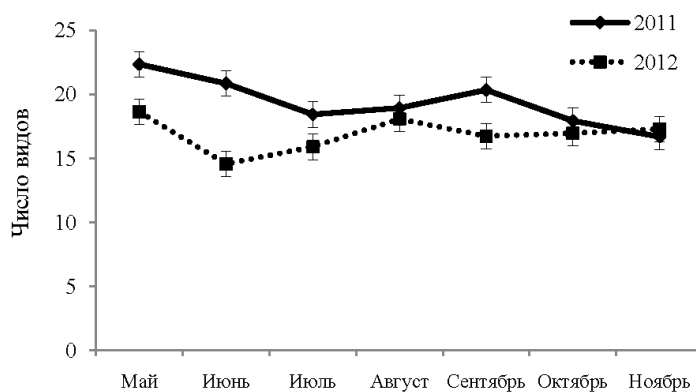


Рис. 8. Изменение видового богатства
раковинных амёб в течение сезона.
Планки погрешностей – ошибка средней

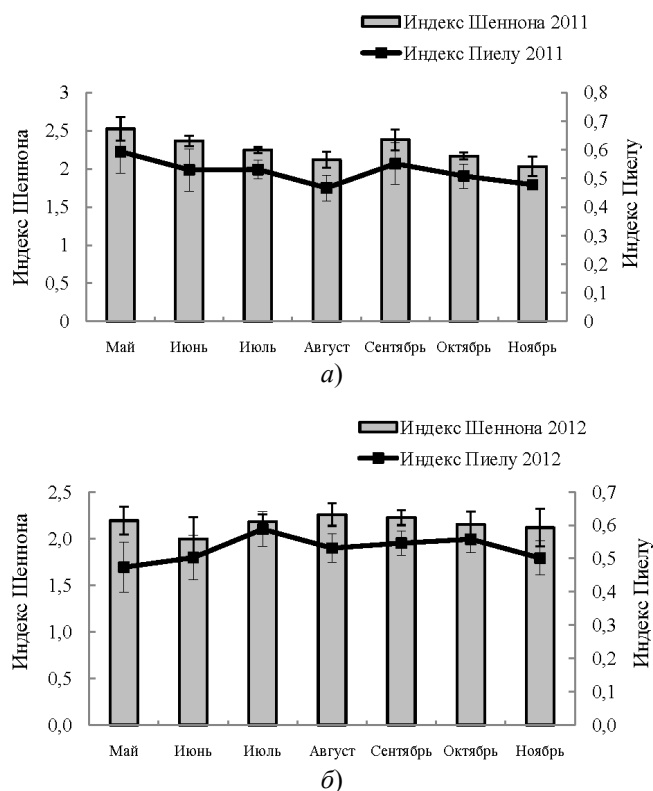


Рис. 9. Изменение показателей видового разнообразия сообщества в течение сезона: а – 2011 г.; б – 2012 г. Планки погрешностей – ошибка средней

На большинстве станций численность возрастает с мая по август, в период с сентября по ноябрь наблюдается ее снижение. Важно иметь в виду, что колебания численности в разных типах местообитаний могут быть более значительными и не соответствовать общим тенденциям. Анализ изменения обилия организмов в каждом биотопе выявил разнонаправленные сезонные изменения численности, не зависящие от типа сообщества (рис. 10). При этом сезонные изменения обилия раковин в биотопах верхового болота слабее зависят от уровня увлажненности субстрата (рис. 10, а, б), чем в низовом (рис. 10, в, г).

В течение каждого вегетативного сезона сообщества корненожек претерпевают структурные изменения. Так, в сезоне 2011 г. можно выделить весенне-летний вариант сообщества (май – июль), летне-осенний (август – октябрь) и позднеосенний (ноябрь) варианты (рис. 11, а). В мае – июле доминируют бриофильные виды *Hyalosphenia papilio*, *Tracheleuglypha dentata* и эврибионт *Trinema enchelys*. В августе – октябре, помимо эврибионтов *Trinema lineare* и *Euglypha rotunda*, доминирует гигрофил *Centropyxis aculeata*. Сообщество сентября структурно сильно связано как с летним, так и осенним вариантами сообществ за счет преобладания бриофильной группы *A. muscorum*, *N. griseola*. Эти виды хорошо развивались в течение всего сезона, и обилие их снизилось лишь в ноябре. Позднеосенний вариант сообщества (ноябрь), так же как и предыдущие, насыщен бриобионтными формами *Hyalosphenia elegans*, *Heleopera sphagni*, включает эврибионтный вид *Centropyxis sylvatica* и гидрофил *C. orbicularis*. В 2012 г. в сообществе раковинных амёб ярко выражены весенне-летний и летне-осенний варианты. Первый характе-

ризуется преобладанием бриобионтов *A. muscorum*, *H. elegans* и эврибионтов *E. rotunda*, *T. linearis*. Во втором варианте сообщества доминируют только типичные бриобионтные формы: *N. griseola*, *H. sphagni*, *H. papilio* (рис. 11,б).

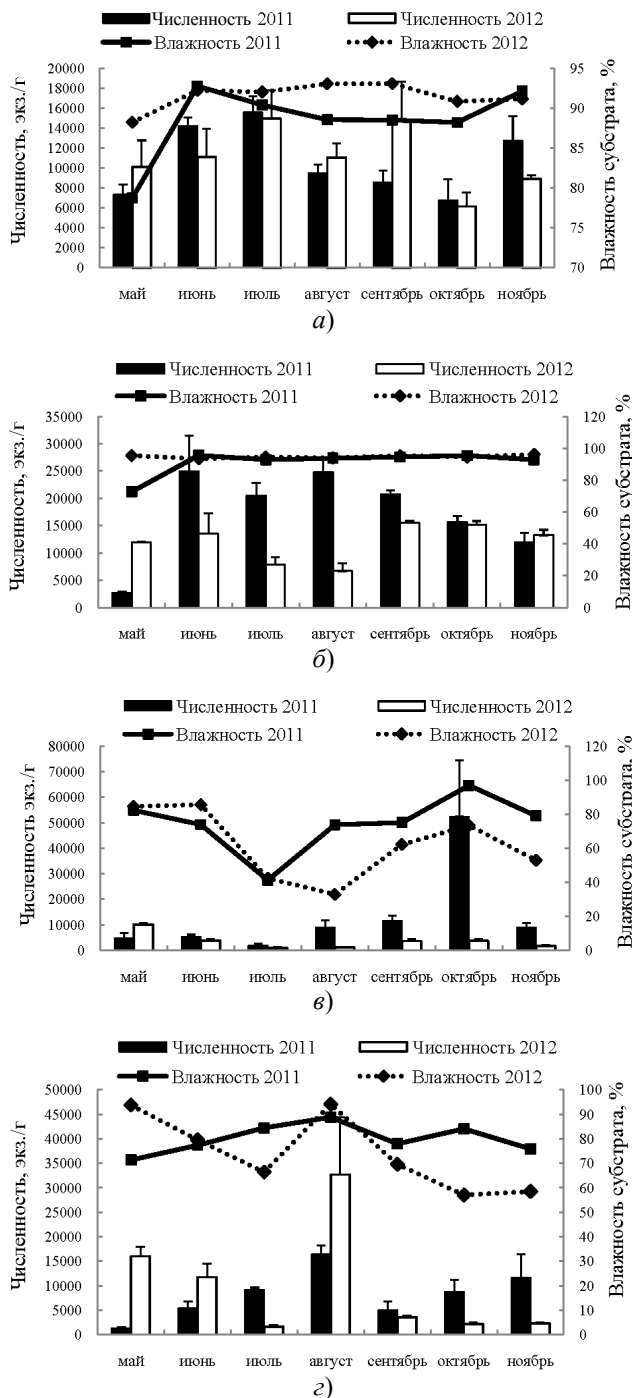


Рис. 10. Изменения численности раковинных амёб и увлажнённости субстрата в течение сезона: а – биотоп СК (2011 – $R_s = 0,86$; $p < 0,05$); б – биотоп М (2011 – $R_s = 0,75$; $p < 0,05$); в – биотоп МП (2012 – $R_s = 0,93$; $p < 0,05$); г – биотоп Д (2012 – $R_s = 0,89$; $p < 0,05$)

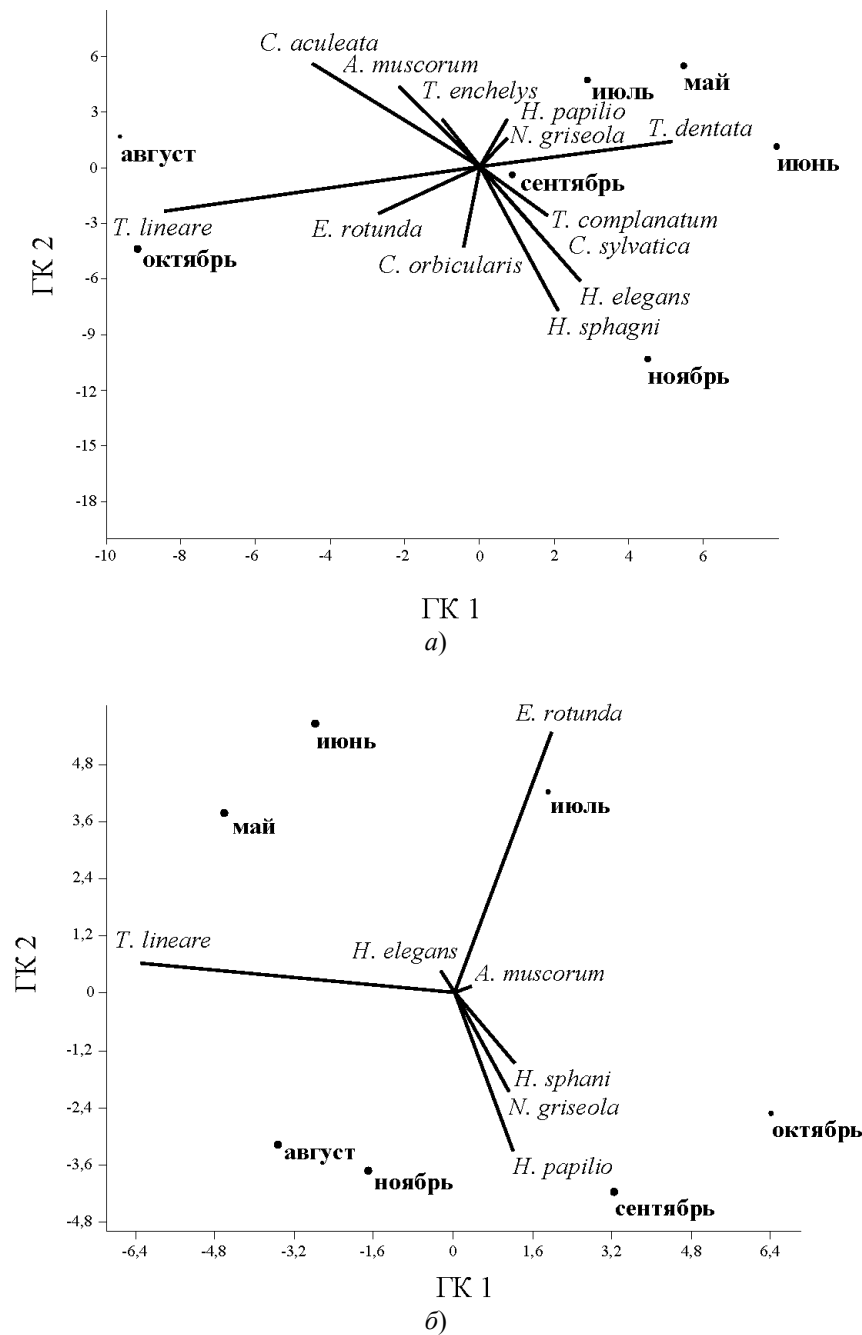


Рис. 11. Результаты ординации сезонных вариантов сообществ раковинных амёб по доминирующим видам методом главных компонент (усреднено по всем биотопам). Доминирующим считали вид, относительные обилия которого превышали 5 % в пробе: а – 2011 г. (1 ГК – 46,2 %; 2 ГК – 28 %); б – 2012 г. (1 ГК – 49,2 %; 2 ГК – 25,3 %)

В результате двух летних наблюдений были выявлены закономерности структурных изменений сообществ. В верховом болоте (сфагновая кочка – СК) на фоне постоянного доминирования бриобионтов *A. muscorum*, *H. ele-*

gans обнаружен комплекс видов, доминирующих весной и летом: *E. rotunda*, *C. dubium*, *N. parvula*. Гигрофил *C. orbicularis* доминировал в конце лета и осенью (рис. 12). При этом такие же тенденции относительно *C. orbicularis* были выявлены и на станции М (мочажина). В данном биотопе М также постоянно преобладают бриобионтные формы. Поскольку переувлажненные условия этого местообитания неблагоприятны для массового развития *A. muscorum*, освободившуюся нишу успешно занимает пара близких видов *H. elegans* и *H. papilio*.

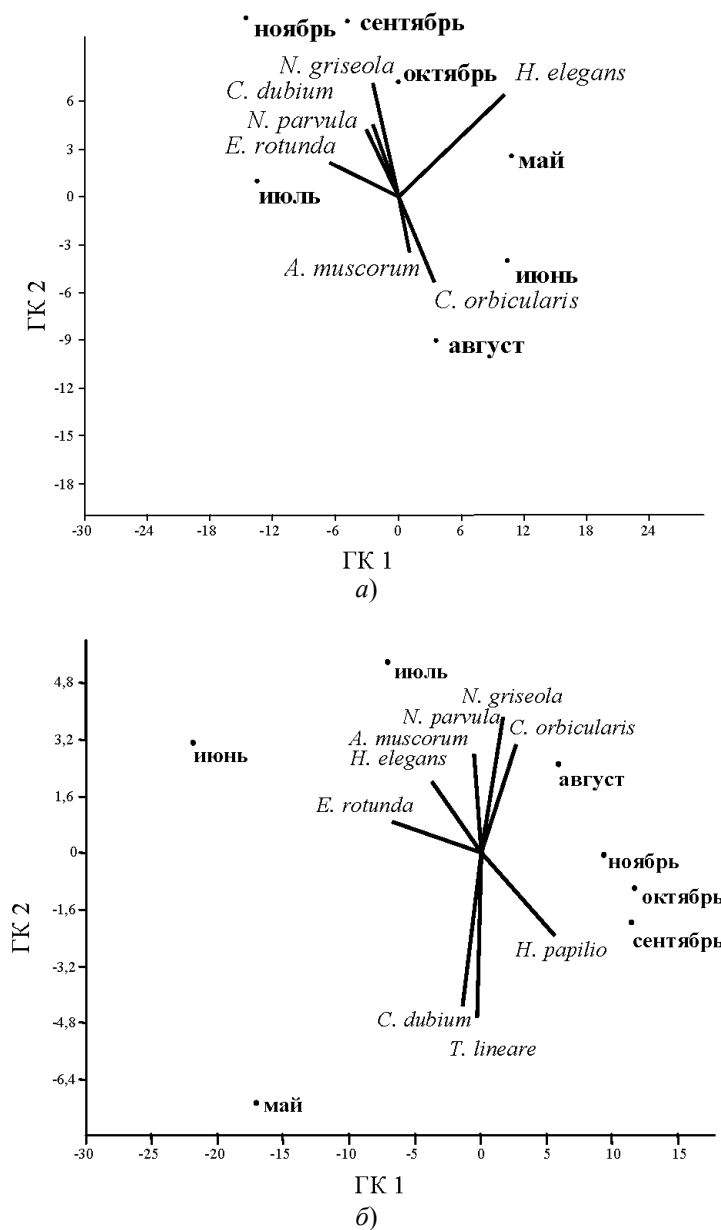


Рис. 12. Результаты ординации сезонных состояний методом главных компонент на станции СК (верховое болото, сфагновая кочка): а – 2011 г. (ГК – 66,4 %; 2 ГК – 19,9 %); б – 2012 г. (ГК – 79,3 %; 2 ГК – 11,1 %)

Осенью обоих сезонов успешно развивается другой бриобионт *H. sphagni* (рис. 13). В сообществах низового болота похожих последовательностей не было обнаружено.

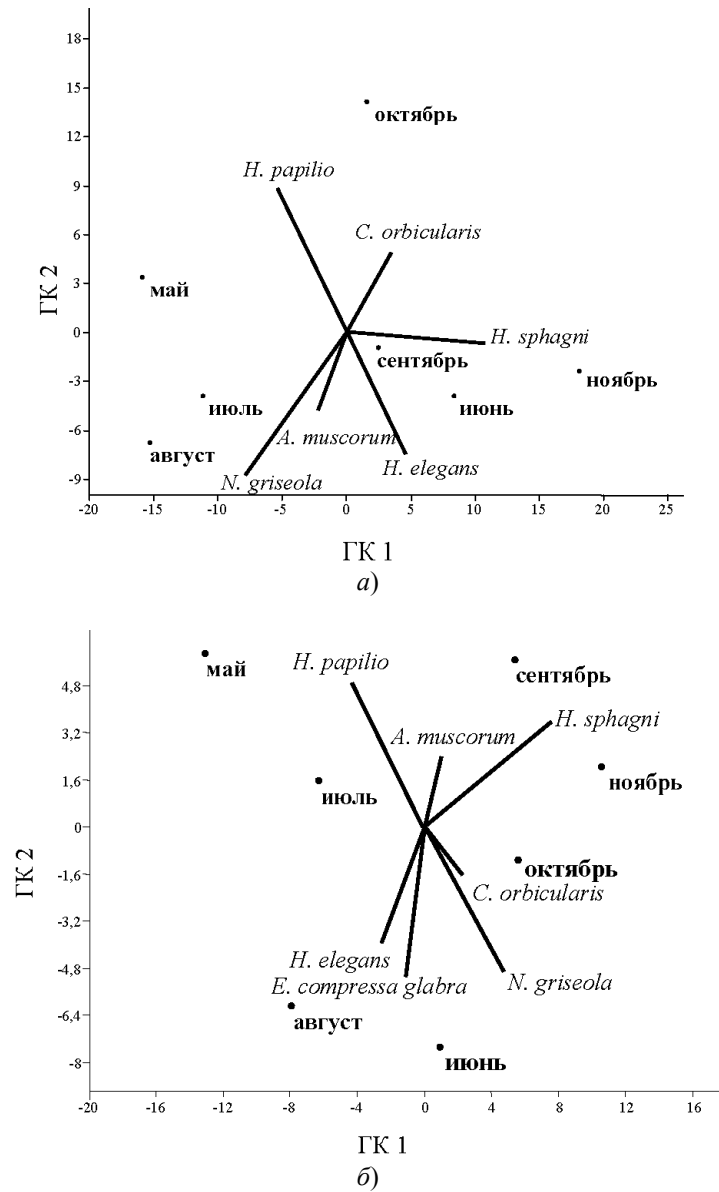


Рис. 13. Результаты ординации сезонных состояний методом главных компонент на станции М (верховое болото, мочажина): а – 2011 г. (ГК – 61,4 %; 2 ГК – 21,1 %); б – 2012 г. (ГК – 60,2 %; 2 ГК – 29,2 %)

Сезонные изменения в местообитаниях МП (мох ауланкониум и почва) и Д (детрит со дна ручья) представляют собой лишь перекомбинацию доминирующих видов (рис. 14, 15). Однако более детальное исследование структуры сообществ биотопа Д показало на двух видах из рода *Trinema*, как, возможно, изменяются сообщества из сезона в сезон. В сезоне 2011 г. *T. com-*

planatum и *T. lineare* доминируют только осенью (рис. 15,а). Весной и летом эти виды встречались редко. Но уже в мае следующего года наблюдалось уверенное преобладание тринематид, а вид *T. lineare* сохранил доминирующие позиции вплоть до ноября (рис. 15,б).

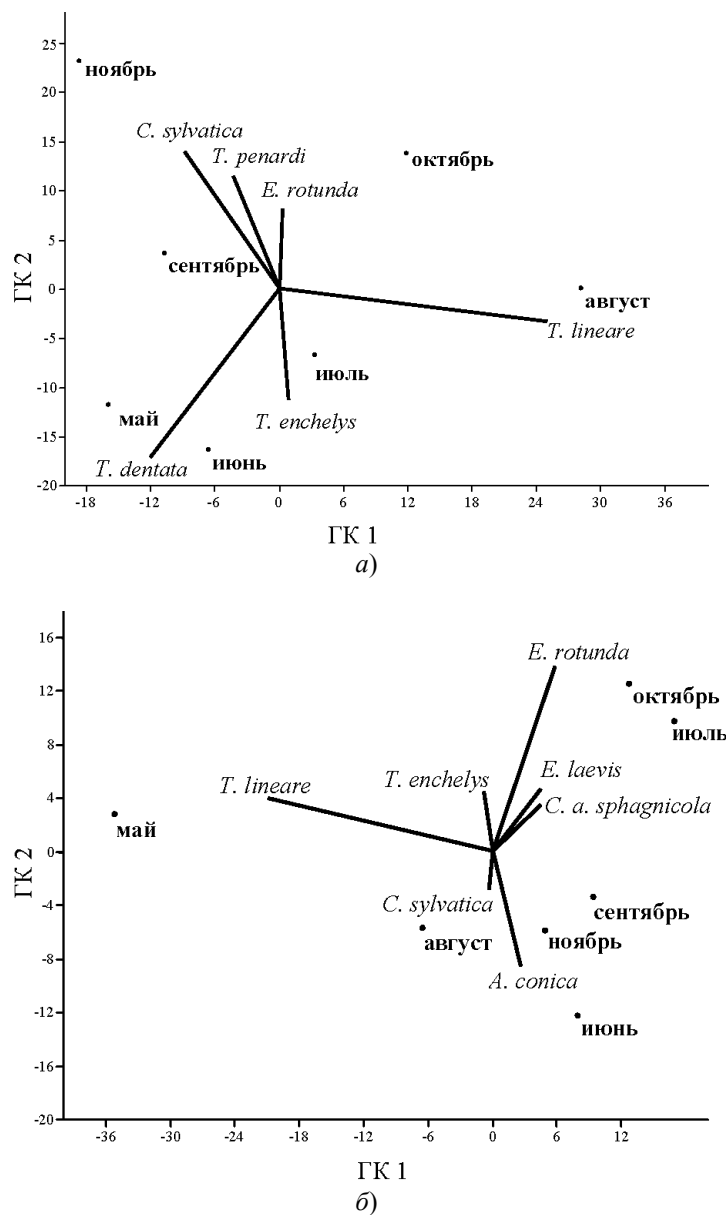


Рис. 14. Результаты ординации сезонных состояний методом главных компонент на станции МП (низовое болото, мох и почва): а – 2011 г. (ГК – 55,5 %; 2 ГК – 31,9 %); б – 2012 г. (ГК – 64,5 %; 2 ГК – 18,7 %)

Во время исследования проводился количественный учет трофозоитов раковинных амёб (живых на момент исследования особей), что позволило более точно отследить сезонные колебания численности как всего сообщества, так и отдельных видов.

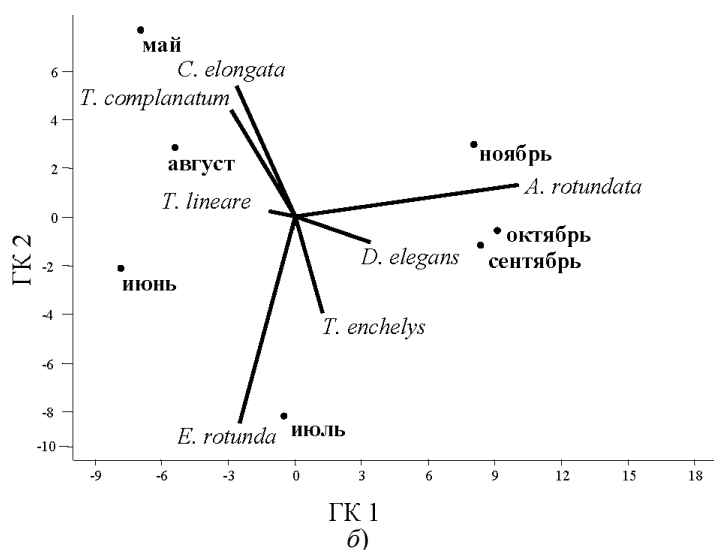
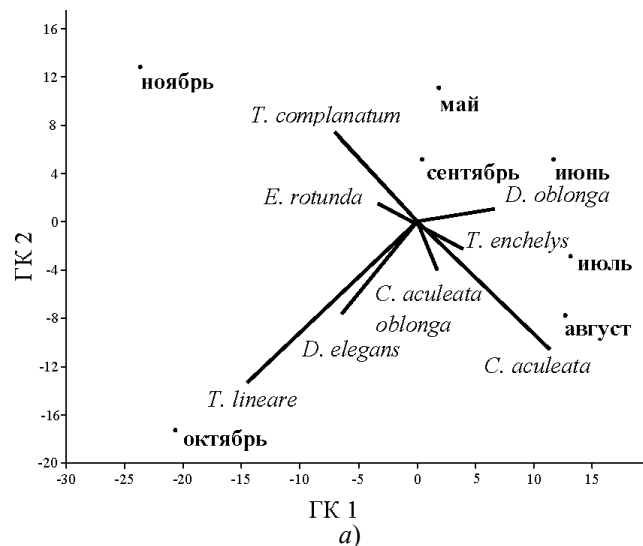


Рис. 15. Результаты ординации сезонных состояний методом главных компонент на станции Д (низовое болото, детрит со дна ручья): а – 2011 г. (ГК – 54,7 %; 2 ГК – 26,0 %); б – 2012 г. (ГК – 81,6 %; 2 ГК – 9,3 %)

В течение первого сезона зафиксировано существенное увеличение численности трофозоитов от мая (2,9 тыс. экз./г) к октябрю (58,3 тыс. экз./г). Во второй сезон отмечено постепенное уменьшение численности с мая по июль (с 23,6 тыс. экз./г до 11,6 тыс. экз./г); далее наблюдается возрастание обилия в сентябре до 32,3 тыс. экз./г, а затем спад до 18,2 тыс. экз./г в ноябре (рис. 16).

Следует обратить внимание на колебания численности трофозоитов в разных местообитаниях (рис. 17). В сфагновых местообитаниях верхового болота численность в течение сезона варьирует в постоянных пределах, с абсолютными максимумами в сентябре (М 2011–2012 гг.). В биотопах низового болота наблюдается совсем другая картина, динамика численности не закономерна и более подвержена зависимости от изменения факторов среды.

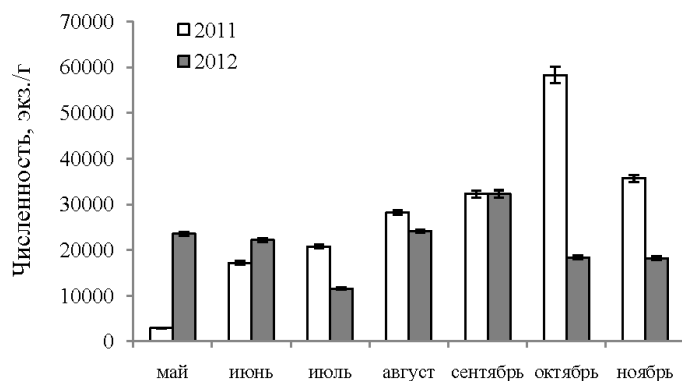
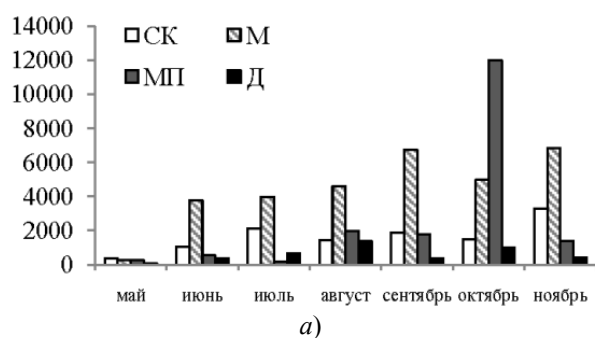
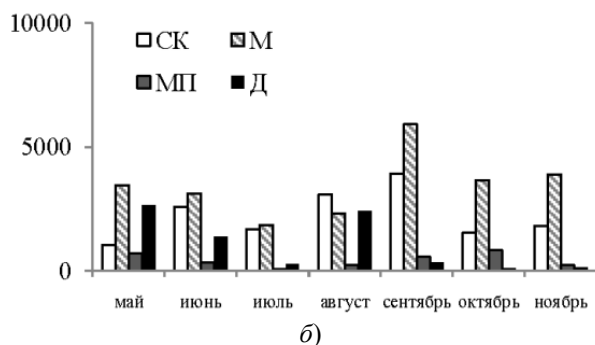


Рис. 16. Изменение численности живых особей в течение сезона.
Планки погрешностей – ошибка средней



а)



б)

Рис. 17. Изменение численности живых особей в течение сезона
на разных станциях: а – 2011 г.; б – 2012 г.

Изучение численности трофозоитов отдельных видов позволило выявить наиболее благоприятный период для их развития. Для большинства распространенных видов этот период выпадает на осень. Весной трофозоиты в пробах были немногочисленны или отсутствовали вовсе. Например, численность *E. compressa* находится на одном уровне в течение всего вегетационного периода, увеличение живых организмов отмечено с сентября по ноябрь в первый год исследования, во втором сезоне численность начинает увеличиваться с августа (рис. 18).

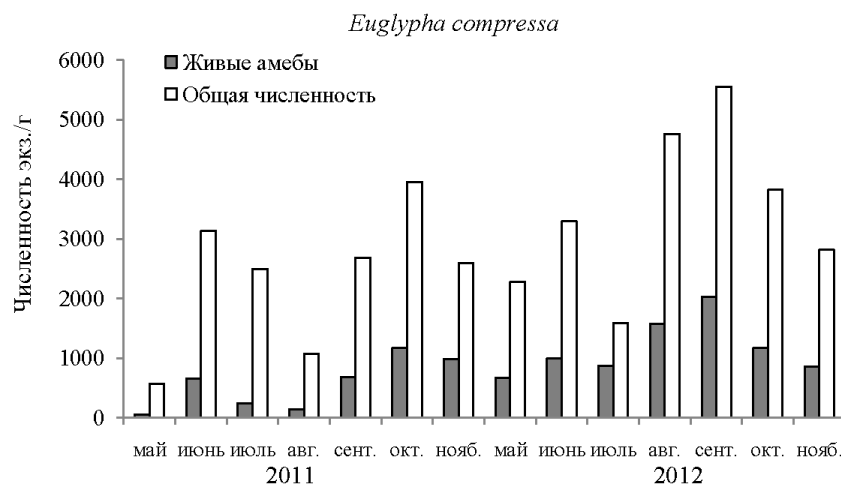


Рис. 18. Соотношение численности трофозоитов и общей численности ракушинок *E. compressa* в течение вегетативных сезонов 2011–2012 гг.

Более ярко подобную последовательность можно рассмотреть на примере бриобионта *Heleopera sphagni* (рис. 19). В сентябре общая численность трофозоитов в пробах увеличивается более чем в 5 раз. Причем на следующий год скачок повторился. Конечно, пока рано говорить об универсальности этого утверждения. Требуется глубже изучить этот момент в многолетней динамике других и подобных местообитаний.

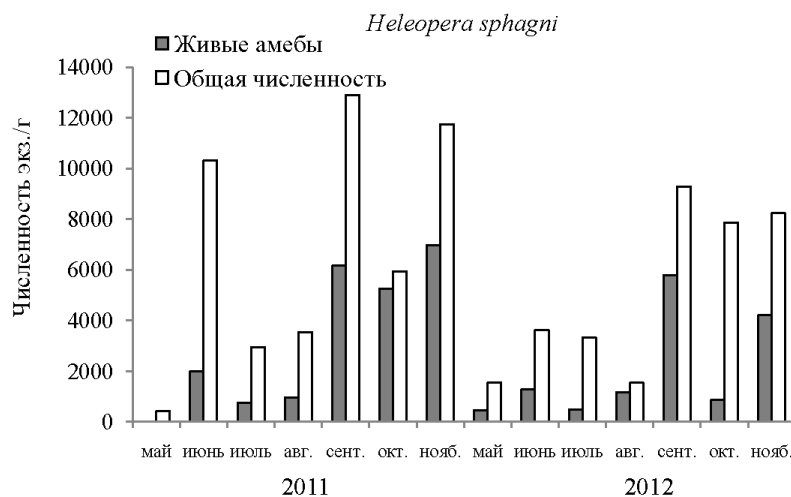


Рис. 19. Соотношение численности трофозоитов и общей численности ракушинок *H. sphagni* в течение вегетативного сезона 2011–2012 гг.

При учете относительных обилий близких видов в сообществе выявлены разнонаправленные тенденции, связанные с попеременным доминированием то одной, то другой формы. В первый год исследования вид *E. compressa* преобладает над близкой формой *E. compressa glabra* в течение всего сезона. Численность *E. compressa glabra* сильно возрастает только в августе (рис. 20,а). В 2012 г. отмечено увеличение численности *E. compressa glabra* по сравнению с 2011 г., хотя численность вида *E. compressa* в течение сезона

все же выше. Период, в котором *E. compressa glabra* превосходит близкую форму, смещен на июль (рис. 20,б).

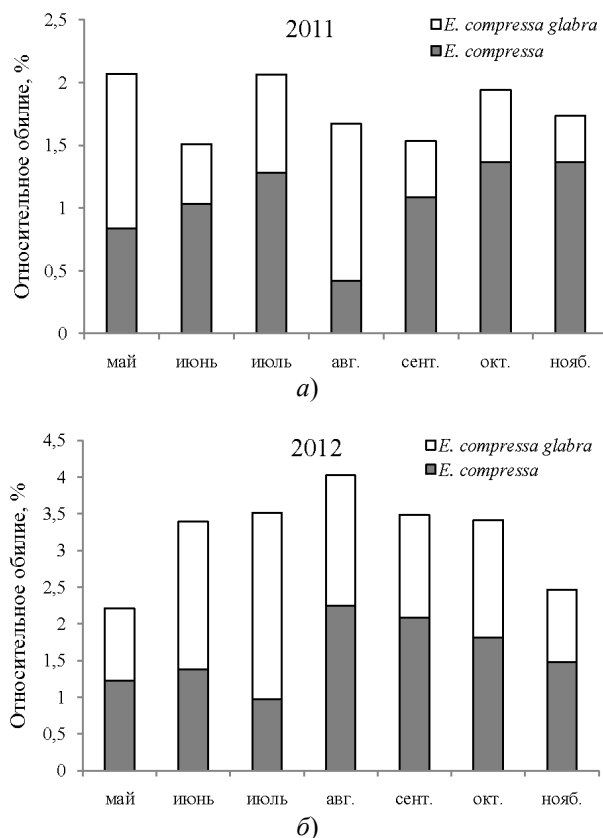


Рис. 20. Изменение относительного обилия (% по численности) в паре близких видов *E. compressa glabra* – *E. compressa* в сообществе в течение сезона: а – 2011 г.; б – 2012 г.

В 2011 г. зафиксировано, что обилие *H. rapilio* максимально в мае, а *H. elegans* преобладает в течение всего остального сезона. Особенно это ярко выражено в июне и ноябре (рис. 21,а). На следующий год численность вида *H. rapilio* возросла, и различия в сообществе нивелировались (рис. 21,б).

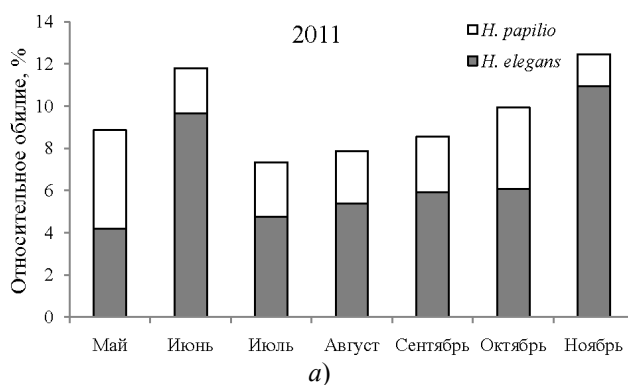


Рис. 21. Изменение относительного обилия (% по численности) в паре близких видов *H. rapilio* – *H. elegans* в сообществе в течение сезона (начало): а – 2011 г.; б – 2012 г.

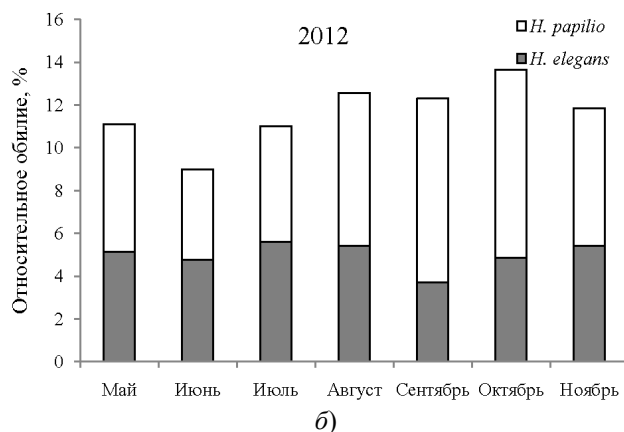


Рис. 21. Изменение относительного обилия (% по численности) в паре близких видов *H. papilio* – *H. elegans* в сообществе в течение сезона (окончание): а – 2011 г.; б – 2012 г.

Обсуждение

В результате изучения сезонной динамики структуры сообщества раковинных амёб в сфагновом Никольском болоте Пензенской области выявлено, что показатели видового богатства, видового разнообразия и выравненности распределения достаточно высоки и изменяются незначительно и недостоверно.

Обилие организмов в отдельных сообществах изменяется разнонаправленно: численность от мая к ноябрю может возрастать, снижаться или колебаться без выраженной тенденции. На большинстве станций в период с мая по август численность раковинных амёб увеличивается, с сентября по ноябрь наблюдается спад. Рост численности раковинных амёб может быть обусловлен изменением факторов среды. Основные факторы, определяющие состав сообществ раковинных амёб: водный режим среды, pH, содержание минеральных веществ и кислорода, температура, освещённость, наличие строительного материала для формирования раковинки и наличие источника питания (микро- и альгфлоры) [40, 49, 50]. Условия водного режима в значительной степени регулируют обилие и структуру населения раковинных амёб: уровень влажности отражается на численности видов, а также на их соотношении и характере доминирования [51, 52].

По данным двухлетней динамики численности живых организмов можно сделать вывод, что наиболее оптимальными условиями для развития раковинных амёб характеризуется период с августа по октябрь. Так, при анализе изменений обилий трофозоитов и пустых раковин в течение сезона у некоторых доминирующих видов раковинных амёб выявлено увеличение численности во временной отрезок август – ноябрь. Весенний период отмечен полным отсутствием или незначительным присутствием живых организмов. Последнее несколько противоречит данным, полученным нами при изучении сезонной динамики корненожек в заболоченном лесу. В этой работе наибольшее значение численности трофозоитов было зафиксировано в апреле (5,4 тыс. экз./г). Доля живых особей от общего количества раковинок снижается от 24,2 % в апреле до 10,2–13,9 % в мае – августе и 5,2–8,7 % в октябре – ноябре [25].

Установлено, что близкие в таксономическом отношении виды имеют более или менее выраженную противоположную динамику, позволяющую им расходиться по временной оси нишевого пространства, что может косвенно свидетельствовать о наличии между ними конкурентных взаимоотношений [53]. Так, в паре близких видов *H. papilio* – *H. elegans* первый вид можно считать весенним, а второй летне-осенним. Данные о снижении численности *H. papilio* во второй половине лета подтверждаются уже имеющимися исследованиями [13, 40]. Подобные изменения численности предыдущие исследователи наблюдали и в парах других близких видов *A. muscorum* – *A. seminulum*, *N. tinctoria* – *N. tenella*, но наши данные такой закономерности не обнаружили.

В другой паре близких видов *E. compressa* – *E. compressa glabra* первый вид преобладает в течение всего сезона, за исключением июля и августа (в разные годы исследования), когда численность второго вида *E. compressa glabra* заметно возрастала. В сообществах микроорганизмов существует расхождение экологических ниш по параметру увлажнения [54]. Поэтому есть основания считать, что форма *E. compressa glabra* заменяет типичную форму *E. compressa* при изменении условий среды в сторону меньшего увлажнения.

Список литературы

1. **Мазей, Ю. А.** Пресноводные раковинные амебы / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов. – М. : Т-во научных изданий КМК, 2006. – 300 с.
2. **Gilbert, D.** Microbial diversity in Sphagnum peatlands / D. Gilbert, E. Mitchell // Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climatic Changes / eds.: I. P. Martini, A. Martínez Cortizas, W. Chesworth. – Amsterdam : Elsevier, 2006. – P. 289–320.
3. **Jassey, V. E. J.** Characterizing the Feeding Habits of the Testate Amoebae *Hyalosphenia papilio* and *Nebela tinctoria* along a Narrow “Fen-Bog” Gradient Using Digestive Vacuole Content and ^{13}C and ^{15}N Isotopic Analyses / V. E. J. Jassey, S. Shimano, C. Dupuy, M.-L. Toussaint, D. Gilbert // Protist. – 2012. – № 163 (3). – P. 451–464.
4. **Jassey, V. E. J.** Plant functional diversity drives niche-size-structure of dominant microbial consumers along a poor to extremely rich fen gradient / V. E. J. Jassey, L. Lamentowicz, B. J. M. Robroek, M. Gabka, A. Rusińska, M. Lamentowicz // Journal of Ecology. – 2014. – № 102 (5). – P. 1150–1162.
5. **Krashevskaya, V.** Moderate changes in nutrient input alter tropical microbial and protist communities and belowground linkages / V. Krashevskaya, D. Sandmann, M. Maraun, S. Scheu // ISME Journal. – 2014. – № 8 (5). – P. 1126–1134.
6. **Mieczan, T.** Diurnal dynamics of the microbial loop in peatlands: Structure, function and relationship to environmental parameters / T. Mieczan, M. Tarkowska-Kukuryk // Hydrobiologia. – 2013. – № 717 (1). – P. 189–201.
7. **Fournier, B.** Toward the use of Testate Amoebae functional traits as indicator of floodplain restoration success / B. Fournier, E. Malysheva, Yu. Mazei, M. Moretti, E. A. D. Mitchell // European Journal of Soil Biology. – 2012. – Vol. 49. – P. 85–91.
8. **Hargan, K. E.** Long-term successional changes in peatlands of the Hudson Bay Lowlands, Canada inferred from the ecological dynamics of multiple proxies / K. E. Hargan, K. M. Rühland, A. M. Paterson, J. Holmquist, G. M. MacDonald, J. Bunbury, S. A. Finkelstein, J. P. Smol // Holocene. – 2015. – № 25 (1). – P. 92–107.
9. **Lamentowicz, M.** Reconstructing human impact on peatland development during the past 200 years in CE Europe through biotic proxies and X-ray tomography / M. Lamentowicz, M. Mueller, M. Galka, J. Barabach, K. Milecka, T. Goslar, M. Binkowski // Quaternary International. – 2014. – DOI: 10.1016/j.quaint.2014.07.045

10. **Payne, R. J.** Seven reasons why protists make useful bioindicators / R. J. Payne // *Acta Protozoologica*. – 2013. – № 52 (3). – P. 105–113.
11. **Song, L.** Ecology of testate amoebae and their potential use as palaeohydrologic indicators from peatland in Sanjiang Plain, Northeast China / L. Song, H. Li, K. Wang, D. Wu, H. Wu // *Frontiers of Earth Science*. – 2014. – № 8 (4). – P. 564–572.
12. **Мазей, Ю. А.** Первые данные о раковинных амебах верховых болот бассейна реки Суры / Ю. А. Мазей, Е. А. Калякин, Д. В. Колесников, Н. Е. Видинеев // *Экологические проблемы современности : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф.* – Пенза, 2005. – С. 28–31.
13. **Mazei, Yu. A.** Species composition, spatial distribution and seasonal dynamics of testate amoebae community in sphagnum bog (Middle Volga region, Russia) / Yu. A. Mazei, A. N. Tsyganov // *Protistology*. – 2007. – Vol. 5, № 2/3. – P. 156–206.
14. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества раковинных амеб в сфагновом болоте верховий реки Суры (Среднее Поволжье) / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов, О. А. Бубнова // *Известия РАН. Серия Биол.* – 2007. – № 4. – С. 462–474.
15. **Мазей, Ю. А.** Изменения видовой структуры сообщества раковинных амеб вдоль средовых градиентов в сфагновом болоте, восстанавливающемся после выработки торфа / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов // *Поволжский экологический журнал*. – 2007. – № 1. – С. 24–33.
16. **Мазей, Ю. А.** Видовой состав, распределение и структура сообщества раковинных амеб мохового болота в Среднем Поволжье / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов, О. А. Бубнова // *Зоол. журн.* – 2007. – Т. 86, вып. 10. – С. 1155–1167.
17. **Мазей, Ю. А.** Видовой состав и структура сообщества раковинных амеб в сфагновом болоте на начальном этапе его становления / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // *Известия РАН. Серия Биол.* – 2007. – № 6. – С. 738–747.
18. **Мазей, Ю. А.** Раковинные амебы в сфагновых болотах (по материалам заповедника «Приволжская лесостепь») / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов, О. А. Митяева, К. В. Бабешко // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2013. – № 3. – С. 3–19.
19. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества раковинных амеб в Наскафтымском моховом болоте (Среднее Поволжье, Россия) / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // *Поволжский экологический журнал*. – 2008. – № 1. – С. 39–47.
20. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества раковинных амеб (Testacealobosea; Testaceafilosea; Amphitremidae) в Чибирлейском моховом болоте (Среднее Поволжье, Россия) / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова, В. А. Чернышов // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2009. – Т. 11, № 1. – Ч. 1. – С. 72–77.
21. **Трулова, А. С.** Сезонная динамика структуры сообщества раковинных амеб в Среднем Поволжье / А. С. Трулова, Ю. А. Мазей // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского*. – 2012. – № 29. – С. 397–404.
22. **Малышева, Е. А.** Структура сообществ раковинных амеб в контактной зоне «лес – сфагновое болото» (озеро Светлое, Среднее Поволжье) / Е. А. Малышева, Ю. А. Мазей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2013. – Т. 2, № 09 (13). – С. 20–26.
23. **Цыганов, А. Н.** Видовой состав и структура сообщества раковинных амеб заболоченного озера в Среднем Поволжье / А. Н. Цыганов, Ю. А. Мазей // *Успехи современной биологии*. – 2007. – Т. 127, № 4. – С. 405–415.
24. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества раковинных амеб (Testacealobosea; Testaceafilosea; Amphitremidae) в напочвенных сфагномах смешанных лесов Среднего Поволжья / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // *Вестник зоологии*. – 2008. – № 1. – С. 41–48.
25. **Трулова, А. С.** Сезонная динамика сообщества раковинных амеб в заболоченном лесу Среднего Поволжья / А. С. Трулова, О. А. Митяева, Ю. А. Мазей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2012. – № 2. – С. 39–44.

26. **Мазей, Ю. А.** Раковинные амёбы в сфагновых биотопах заболоченных лесов / Ю. А. Мазей, О. А. Бубнова // Зоол. журн. – 2009. – Т. 88, № 4. – С. 387–397.
27. **Бурковский, И. В.** Структурно-функциональная организация и устойчивость морских донных сообществ / И. В. Бурковский. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 208 с.
28. **Бурковский, И. В.** Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем / И. В. Бурковский. – М. : Т-во науч. изданий КМК, 2006. – 285 с.
29. **Бурковский, И. В.** Годичные циклические изменения и процессы самоорганизации в сообществе морского микробентоса / И. В. Бурковский, М. Ю. Колобов, А. П. Столяров // Журн. общ. биол. – 2003. – Т. 64, № 5. – С. 389–402.
30. **Бурковский, И. В.** Структура сообщества инфузорий в зоне смешения речных и морских вод / И. В. Бурковский, Ю. А. Мазей // Зоол. журн. – 2001. – Т. 80. – С. 259–268.
31. **Wanner, M.** Primary immigration and succession of soil organisms on reclaimed opencast coal mining areas in eastern Germany / M. Wanner, W. Dunger // Eur. J. Soil. Biol. – 2002. – Vol. 38. – P. 137–143.
32. **Wanner, M.** Testate amoebae colonizing a newly exposed land surface are of airborne origin / M. Wanner, M. Elmer, M. Sommer, R. Funk, D. Puppe // Ecological Indicators. – 2015. – № 48. – P. 55–62.
33. **Wörner, U.** Succession of protists on estuarine aggregates / U. Wörner, Y. Zimmerman-Timm, H. Kausch // J. Microb. Ecol. – 2000. – Vol. 40. – P. 209–222.
34. **Бурковский, И. В.** Многолетние изменения численности популяций псаммофильных инфузорий Белого моря / И. В. Бурковский, Ю. А. Мазей // Успехи современной биологии. – 2010. – Т. 130, № 2. – С. 200–215.
35. **Алпатова, О. А.** Сезонные изменения численности и видового богатства раковинных амёб (Testacealobosea, Testaceafilosea) в р. Гуйва (Бассейн Днестра) / О. А. Алпатова // Вестник зоологии. – 2010. – Т. 44, № 6. – С. 525–532.
36. **Булатова, У. А.** Фауна и экологические особенности раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) долины нижней Томи : дис. ... канд. биол. наук / Булатова У. А. – Томск : ТГУ, 2010. – 141 с.
37. **Говоркова, М. Н.** Сезонная динамика численности популяции раковинных амёб в болотных почвах Западной Сибири / М. Н. Говоркова // Научная сессия ТУСУР–2007 : материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : ТУСУР, 2007. – Ч. 5. – С. 56–58.
38. **Coûteaux, M.** Dynamisme de l'équilibre des Thécamoebiens dans quelques sols climatiques / M. Coûteaux // Mem. Mus. Natl. Hist. Nat. ser. A. Zool. – 1976. – Vol. 96. – P. 1–183.
39. **Davidova, R.** Seasonal dynamics of the testate amoebae fauna (Protozoa: Arcellinida and Euglyphida) in Durankulak Lake (Northeastern Bulgaria) / R. Davidova, V. Vasilev // Acta Zoologica Bulgarica. – 2013. – № 65 (1). – P. 27–36.
40. **Heal, O. W.** Observations on the seasonal and spatial distribution of Testacea (Protozoa: Rhizopoda) in Sphagnum / O. W. Heal // Journal of Animal Ecology. – 1964. – Vol. 33. – P. 395–412.
41. **Lamentowicz, M.** Seasonal patterns of testate amoeba diversity, community structure and species-environment relationships in four Sphagnum-dominated peatlands along a 1300m altitudinal gradient in Switzerland / M. Lamentowicz, L. Bragazza, A. Buttler, V. E. J. Jassey, E. A. D. Mitchell // Soil Biology and Biochemistry. – 2013. – № 67. – P. 1–11.
42. **Marcisz, K.** Seasonal changes in Sphagnum peatland testate amoeba communities along a hydrological gradient / K. Marcisz, T. Lamentowicz, S. Słowińska, M. Słowiński, W. Muszak, M. Lamentowicz // European Journal of Protistology. – 2014. – Vol. 50 (5). – P. 445–455.
43. **Schönborn, W.** Estimation of annual production of Testacea (Protozoa) in mull and moder (II) / W. Schönborn // Pedobiologia. – 1982. – Vol. 23. – P. 383–393.

44. **Todorov, M.** Seasonal Dynamics of the Diversity and Abundance of the Marine Interstitial Testate Amoebae (Rhizopoda: Testacealobosia and Testaceafilosia) in the Black Sea Supralittoral / M. Todorov, V. Golemansky // *Acta Protozool.* – 2007. – Vol. 46. – P. 169–181.
45. **Мазей, Ю. А.** Структура сообществ почвообитающих простейших в лесах, находящихся на разных стадиях восстановительной сукцессии (Среднее Поволжье) / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* – 2014. – № 4 (8). – С. 94–107.
46. **Трулова, А. С.** Сезонные изменения структуры сообщества почвообитающих раковинных амёб в лесостепных биогеоценозах Среднего Поволжья / А. С. Трулова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.* – 2013. – Т. 1, № 09 (13). – С. 25–32.
47. **Гланц, С.** Медико-биологическая статистика / С. Гланц. – М. : Практика, 1998. – 459 с.
48. **Hammer, O.** PAST: Palaeontological Statistics software package for education and data analysis / O. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontologica electronica.* – 2001. – Vol. 4, iss. 1. – P. 4–9.
49. **Денисенков, В. П.** Основы болотоведения / В. П. Денисенков. – СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2000. – 224 с.
50. **Заварзин, Г. А.** Лекции по природоведческой микробиологии / Г. А. Заварзин. – М. : Наука, 2004. – 348 с.
51. **Bonnet, L.** Le peuplement thecamoebien des mousses corticoles / L. Bonnet // *Protistologica.* – 1973. – Т. 9. – P. 319–338.
52. **Mitchell, E. A. D.** Testate amoebae (Protista) communities in *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. (Bryophyta): relationships with altitude and moss elemental chemistry / E. A. D. Mitchell, L. Bragazza, R. Gerdol // *Protist.* – 2004. – Vol. 155. – P. 423–436.
53. **Бурковский, И. В.** Разделение экологических ресурсов и взаимоотношение видов в сообществе морских псаммофильных инфузорий / И. В. Бурковский // *Зоол. журн.* – 1987. – Т. 66. – С. 645–654.
54. **Бобров, А. А.** Экология раковинных амёб олиготрофных болот (особенности экологии политипических и полиморфных видов) / А. А. Бобров, Д. Чармен, Б. Уорнер // *Известия РАН. Сер. Биол.* – 2002. – № 6. – С. 738–751.

References

1. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N. *Presnovodnye rakovinnye ameby* [Limnetic testate amoebas]. Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 300 p.
2. Gilbert D., Mitchell E. *Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climatic Changes*. Eds.: I. P. Martini, A. Martínez Cortizas, W. Chesworth. Amsterdam: Elsevier, 2006, pp. 289–320.
3. Jassey V. E. J., Shimano S., Dupuy C., Toussaint M.-L., Gilbert D. *Protist.* 2012, no. 163 (3), pp. 451–464.
4. Jassey V. E. J., Lamentowicz L., Robroek B. J. M., Gabka M., Rusińska A., Lamentowicz M. *Journal of Ecology.* 2014, no. 102 (5), pp. 1150–1162.
5. Krashevskaya V., Sandmann D., Maraun M., Scheu S. *ISME Journal.* 2014, no. 8 (5), pp. 1126–1134.
6. Mieczan T., Tarkowska-Kukuryk M. *Hydrobiologia.* 2013, no. 717 (1), pp. 189–201.
7. Fournier B., Malysheva E., Mazei Yu., Moretti M., Mitchell E. A. D. *European Journal of Soil Biology.* 2012, vol. 49, pp. 85–91.
8. Hargan K. E., Rühland K. M., Paterson A. M., Holmquist J., MacDonald G. M., Bunbury J., Finkelstein S. A., Smol J. P. *Holocene.* 2015, no. 25 (1), pp. 92–107.
9. Lamentowicz M., Mueller M., Galka M., Barabach J., Milecka K., Goslar T., Binkowski M. *Quaternary International.* 2014. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.07.045

10. Payne R. J. *Acta Protozoologica*. 2013, no. 52 (3), pp. 105–113.
11. Song L., Li H., Wang K., Wu D., Wu H. *Frontiers of Earth Science*. 2014, no. 8 (4), pp. 564–572.
12. Mazei Yu. A., Kalyakin E. A., Kolesnikov D. V., Vidineev N. E. *Ekologicheskie problemy sovremennosti : sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Ecological problems of modern times: collected works of the International scientific and practical conference]. Penza, 2005, pp. 28–31.
13. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N. *Protistology*. 2007, vol. 5, no. 2/3, pp. 156–206.
14. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N., Bubnova O. A. *Izvestiya RAN. Seriya Biol.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series]. 2007, no. 4, pp. 462–474.
15. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga region ecological journal]. 2007, no. 1, pp. 24–33.
16. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N., Bubnova O. A. *Zool. zhurn.* [Zoological journal]. 2007, vol. 86, iss. 10, pp. 1155–1167.
17. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Izvestiya RAN. Seriya Biol.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series]. 2007, no. 6, pp. 738–747.
18. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N., Mityaeva O. A., Babeshko K. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2013, no. 3, pp. 3–19.
19. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga region ecological journal]. 2008, no. 1, pp. 39–47.
20. Mazei Yu. A., Bubnova O. A., Chernyshov V. A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences]. 2009, vol. 11, no. 1, part 1, pp. 72–77.
21. Trulova A. S., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky]. 2012, no. 29, pp. 397–404.
22. Malysheva E. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2013, vol. 2, no. 09 (13), pp. 20–26.
23. Tsyganov A. N., Mazei Yu. A. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Progress of modern biology]. 2007, vol. 127, no. 4, pp. 405–415.
24. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Vestnik zoologii* [Bulletin of zoology]. 2008, no. 1, pp. 41–48.
25. Trulova A. S., Mityaeva O. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2012, no. 2, pp. 39–44.
26. Mazei Yu. A., Bubnova O. A. *Zool. zhurn.* [Zoological journal]. 2009, vol. 88, no. 4, pp. 387–397.
27. Burkovskiy I. V. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya i ustoychivost' morskikh donnykh soobshchestv* [Structural-functional organization and stability of bottom thalassium]. Moscow: Izd-vo MGU, 1992, 208 p.
28. Burkovskiy I. V. *Morskaya biogeotsenologiya. Organizatsiya soobshchestv i ekosistem* [Marine biogeocenology. Organization of associations and ecosystems]. Moscow: T-vo nauch. izdaniy KMK, 2006, 285 p.
29. Burkovskiy I. V., Kolobov M. Yu., Stolyarov A. P. *Zhurn. obshch. biol.* [Journal of general biology]. 2003, vol. 64, no. 5, pp. 389–402.
30. Burkovskiy I. V., Mazei Yu. A. *Zool. zhurn.* [Zoological journal]. 2001, vol. 80, pp. 259–268.
31. Wanner M., Dunger W. *Eur. J. Soil. Biol.* 2002, vol. 38, pp. 137–143.
32. Wanner M., Elmer M., Sommer M., Funk R., Puppe D. *Ecological Indicators*. 2015, no. 48, pp. 55–62.

33. Wörner U., Zimmerman-Timm Y., Kausch H. *J. Microb. Ecol.* 2000, vol. 40, pp. 209–222.
34. Burkovskiy I. V., Mazei Yu. A. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Progress of modern biology]. 2010, vol. 130, no. 2, pp. 200–215.
35. Alpatova O. A. *Vestnik zoologii* [Bulletin of zoology]. 2010, vol. 44, no. 6, pp. 525–532.
36. Bulatova U. A. *Fauna i ekologicheskie osobennosti rakovinykh ameb (Rhizopoda, Testacea) doliny nizhney Tomi: dis. kand. biol. nauk* [Fauna and ecological features of testate amoebas (*Rhizopoda*, *Testacea*) of the lower Tom valley: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Tomsk: TGU, 2010, 141 p.
37. Govorkova M. N. *Nauchnaya sessiya TUSUR–2007: materialy dokl. Vseros. nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Scientific session TUSUR–2007: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists]. Tomsk: TUSUR, 2007, part 5, pp. 56–58.
38. Coûteaux M. *Mem. Mus. Natl. Hist. Nat. ser. A. Zool.* 1976, vol. 96, pp. 1–183.
39. Davidova R., Vasilev V. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2013, no. 65 (1), pp. 27–36.
40. Heal O. W. *Journal of Animal Ecology*. 1964, vol. 33, pp. 395–412.
41. Lamentowicz M., Bragazza L., Buttler A., Jassey V. E. J., Mitchell E. A. D. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013, no. 67, pp. 1–11.
42. Marcisz K., Lamentowicz T., Słowińska S., Słowiński M., Muszak W., Lamentowicz M. *European Journal of Protistology*. 2014, vol. 50 (5), pp. 445–455.
43. Schönborn W. *Pedobiologia*. 1982, vol. 23, pp. 383–393.
44. Todorov M., Golemansky V. *Acta Protozool.* 2007, vol. 46, pp. 169–181.
45. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2014, no. 4 (8), pp. 94–107.
46. Trulova A. S., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nasyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2013, vol. 1, no. 09 (13), pp. 25–32.
47. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Biomedical statistics]. Moscow: Praktika, 1998, 459 p.
48. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. *Palaeontologica electronica*. 2001, vol. 4, iss. 1, pp. 4–9.
49. Denisenkov V. P. *Osnovy bolotovedeniya* [Basic telmathology]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPb. un-ta, 2000, 224 p.
50. Zavarzin G. A. *Leksii po prirodovedcheskoy mikrobiologii* [Natural microbiology lectures]. Moscow: Nauka, 2004, 348 p.
51. Bonnet L. *Protistologica*. 1973, vol. 9, pp. 319–338.
52. Mitchell E. A. D., Bragazza L., Gerdol R. *Protist*. 2004, vol. 155, pp. 423–436.
53. Burkovskiy I. V. *Zool. zhurn.* [Zoological journal]. 1987, vol. 66, pp. 645–654.
54. Bobrov A. A., Charman D., Uorner B. *Izvestiya RAN. Ser. Biol.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series]. 2002, no. 6, pp. 738–751.

Уткина (Трулова) Алиса Сергеевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт фундаментальных и прикладных исследований, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: alisa.trulowa@yandex.ru

Utkina (Trulova) Alisa Sergeevna

Candidate of biological sciences, senior researcher, Institute of fundamental and applied research, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Мазей Юрий Александрович

доктор биологических наук, профессор,
кафедра зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yurimazei@mail.ru

Mazei Yuri Alexandrovich

Doctor of biological sciences, professor,
sub-department of zoology and ecology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 593.11

Уткина (Трулова), А. С.

**Видовой состав, структура и сезонная динамика сообщества рако-
винных амёб в Никольском моховом болоте (Среднее Поволжье) /**
А. С. Уткина (Трулова), Ю. А. Мазей // Известия высших учебных заведений.
Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 67–97.

ИЗМЕНЕНИЯ СООБЩЕСТВ ПОЧВООБИТАЮЩИХ РАКОВИННЫХ АМЕБ ВДОЛЬ КАТЕН В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Целью работы явилось изучение закономерностей изменения структуры сообществ раковинных амёб в пределах одной катены лесостепного типа и двух катен лесного типа в лесостепной зоне Среднего Поволжья.

Материалы и методы. Исследования лесостепной катены проводили в 2007 г. на территории Островцовской лесостепи. Здесь формируются пять растительных сообществ: остепненный луг на плакоре, разнотравно-злаковый терновник – на пологом, осинник бересклето-черемуховый, разнотравно-снытевый – на более крутом участке склона; в балке ольшаник осоко-разнотравный занимает территорию, где вода сохраняется в течение всего лета, а ветляник осоко-крапивно-разнотравный – на более сухом участке. Исследования лесных катен проводили в 2007 г. на территории лесного массива «Светлая поляна» в окрестностях г. Пензы. Изучали распределение раковинных амёб вдоль двух катен. Первая начиналась в дубраве, далее на склоне – осинник, в пойме реки – ольшаник и заливной луг. Вторая представляет собой переход от сосняка, через посадки ели и березняка на склоне к ивняку и переходному болоту в западине.

Результаты. Смена видов-доминантов и индикаторных видов в почвах разных катен отражает переход от автоморфных местообитаний к гигро- или гидроморфным. Как правило, сообщество раковинных корненожек в катене дифференцировано на варианты, соответствующие элювиальным, транзитным и аккумулятивным зонам склона. Это разделение связано со сменой доминантов и появлением индикаторных видов, в первую очередь гидрофилов на аккумулятивных позициях. Вместе с тем часть видов эвритопов (в том числе и входящих в состав доминирующего комплекса, например, *Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) входит в состав локальных сообществ всех участков катен.

Выводы. Общая закономерность проявляется в возрастании видового богатства и обилия раковинных корненожек вниз по катене. Однако это правило может в некоторых случаях и не выполняться, что связано со спецификой конкретных биотопов. Как и в предыдущих работах, не было отмечено возрастания видового богатства в транзитных зонах, что более характерно для почвенной мезофауны.

Ключевые слова: раковинные амёбы, структура сообщества, лесостепь, катена.

Yu. A. Mazei, E. A. Embulaeva

SOIL-INHABITED TESTATE AMOEBAE COMMUNITY PATTERNS ALONG CATENAS IN THE FOREST-STEPPE NATIVE ZONE

Abstract.

Background. The aim of the study was to investigate testate amoebae community patterns along one catena of a forest-steppe type and two catenas of a forest type in the forest-steppe native zone in Middle Volga Region.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 14-14-00891).

Materials and methods. The study was conducted in 2007. A forest-steppe catena was located in the Ostrovysovskaya forest-steppe territory. The catena was divided into five parts: a steppe meadow in the watershed, a blackthorn bush and an aspen forest in the slope, an alder forest and a willow forest in the ravine bottom. The forest catenas were located in the outskirts of Penza-city in the 'Svetlaya polyana' territory. The first catena started from an oak forest in the watershed, continued as an aspen forest in the slope and finished as an alder forest and a meadow in the river floodplain. The second catena represented a transition starting from a pine forest via spruce and birch woods towards a willow bush and a fen.

Results. There is clear shift of the testate amoebae community composition and structure along the catenas. This reflects a transformation of automorphous habitats on the watersheds to a hygromorphous and hydromorphous environment on the floodplains. However, some species represented a eurytopic group (*Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) and occur in the communities at different catenary levels.

Conclusions. The general community pattern appeared in increasing of species richness and abundance of testate amoebae down along the catena. However, there were some exceptions from this pattern reflecting peculiarities of the concrete environment. No increasing of species richness have been detected in transitional zones.

Key words: testate amoebae, community structure, forest-steppe, catena.

Раковинные амёбы – компонент почвенного населения, выполняющий важные функции в поддержании биогеохимических циклов [1–7] и формирующий разнообразные и сложные сообщества [8–10]. На территории Среднего Поволжья мы анализировали сообщества почвообитающих корненожек при переходе от степи к лесу в Островцовской и Кунчеровской лесостепи [11–14], а также в соответствии с микропространственной гетерогенностью биогеоценозов [15–17], в разных пространственных масштабах [18], в ходе сезонных модификаций биотопа [19], лесах, находящихся на разных стадиях восстановительной сукцессии [20]. В настоящей работе мы решили рассмотреть, как изменяются сообщества почвообитающих раковинных амёб вдоль ландшафтных катен.

Катеной считают любую произвольно выбранную часть ландшафтного склона, или весь склон, представляющую собой совокупность местообитаний с закономерным изменением экологических условий, которое обусловлено рельефом местности [21]. В верхней части катены отсутствует привнос вещества (кроме осадков), в нижней – вынос. Начальный элемент катены – элювиальный ландшафт, конечный – аккумулятивный. Между ними располагаются транзитные ландшафты [22]. Стандартная catena состоит из пяти позиций: элювиальной, 1-й, 2-й, 3-й транзитных и аккумулятивной. Компонентом, чутко реагирующим на изменение рельефа, является почва. Увеличение вниз по склону суммарного увлажнения почв, а также их качества определяет изменение растительных сообществ и их животного населения [21].

Лесостепные катены северной окраины степной зоны имеют наибольшее отклонение от стандартного степного типа, поскольку в понижениях рельефа в любой ее части формируется лес. Поэтому на одном склоне единой катены сосуществуют два типологических ряда биогеоценозов: травяной и лесной. Ранее мы анализировали изменения сообществ моллюсков вдоль лесостепной катены [23]. Что касается раковинных амёб, то трансформации их сообществ вдоль катен изучали в Карелии [24, 25], Окском заповеднике [26, 27],

в подтаежной зоне Западной Сибири [28]. Целью настоящей работы явилось изучение закономерностей изменения структуры сообществ раковинных амёб в пределах одной катены лесостепного типа и двух катен лесного типа в лесостепной зоне Среднего Поволжья.

Материал и методика

Исследования лесостепной катены проводили в 2007 г. на территории Островцовской лесостепи. Для исследования была выбрана катена, расположенная на понижающемся со 198 до 179 м над уровнем моря участке юго-западной экспозиции, отдельные элементы которой различаются уровнем увлажнения. Здесь формируются пять растительных сообществ. Остепненный луг разнотравный безостокострецовый (биотоп 1) раскинулся на плакоре (элювиальный ландшафт), разнотравно-злаковый терновник (биотоп 2) – на пологом, осинник бересклето-черемуховый, разнотравно-снытевый (биотоп 3) – на более крутом участке склона (транзитные ландшафты). В балке ольшаник осоко-разнотравный (биотоп 4) занимает территорию, где вода сохраняется в течение всего лета, а ветляник осоко-крапивно-разнотравный (биотоп 5) – на более сухом участке. Эти два лесных фитоценоза – аккумулятивные. Аккумулятивные позиции располагаются в балке Журавлиная, где течет небольшой (шириной до 2 м) ручей и часть территории заболочена.

На плакоре под мезоксерофитными луговыми растительными сообществами образуются типичные черноземы. Мощность их перегнойно-аккумулятивного горизонта 50–70 см. Ниже, в зарослях терна, формируется слабо-выщелоченный чернозем. В верхней части крутого склона, где внутрпочвенный сток усилен из-за дренирующего воздействия оврага, чернозем оподзоленный, а ближе к основанию на более ровных площадках – чернозем луговой. В самом низу катены, в балке, почвы дерново-глеевые и местами иловато-болотные.

Исследования лесных катен проводили в 2007 г. на территории лесного массива «Светлая поляна» в окрестностях г. Пензы, представляющего собой комплекс участков коренных сосняков и дубрав на плакоре, перемежающихся осинниками, березняками и ольшаниками в понижениях рельефа. Изучали распределение раковинных амёб вдоль двух катен. Первая начиналась в дубраве, далее на склоне – осинник, в пойме реки – ольшаник и заливной луг. Вторая представляет собой переход от сосняка, через посадки ели и березняка на склоне к ивняку и переходному болоту в западине.

В каждом из биотопов отбирали по три пробы, включающие почву из горизонта A_0 и верхних двух сантиметров горизонта A_1 . Для выявления видового состава и количественного учета раковинных амёб 5 г исследуемого субстрата помещали в закрывающуюся колбу на 150 мл, заливали произвольным количеством воды и оставляли на сутки для размокания почвенных частиц. Затем взвесь взбалтывали в течение 10 мин и фильтровали через сито с ячейками 0,5 мм в большие химические стаканы емкостью 0,8 л. Оставшиеся на сите крупные грубые элементы опада дополнительно промывали слабой струей воды. Взвесь отстаивали в течение суток, надосадочную прозрачную жидкость сливали, оставшееся количество фильтрата переносили в градуированную емкость и снова давали отстояться. Избыточную жидкость вновь сливали, оставляя лишь 10 мл. Суспензию, содержащую, таким образом, 5 г суб-

страта в 10 мл воды, окрашивали раствором эритрозина в течение суток. Для микроскопирования 2 мл фильтрата помещали в малую чашку Петри. Фильтрат разбавляли водой (до объема, удобного для микроскопирования) и равномерно распределяли по дну чашки. Затем под микроскопом БИОМЕД-6-ПР при увеличении $\times 160$ по полям зрения просматривали суспензию. Определяли видовой состав раковинных амёб и просчитывали раковинки в двукратной повторности [16, 29]. В каждой пробе было подсчитано не менее 150 экземпляров. Полученные величины численности раковинок пересчитывали на 1 г абсолютно сухого субстрата.

Классификацию сообществ осуществляли с помощью кластерного анализа методом среднего присоединения на основе матриц индексов сходства Раупа – Крика, чтобы учесть сходство в видовом составе. Для выявления основных направлений варьирования сообществ по видовой структуре осуществляли ординацию сообществ методом анализа главных компонент на основе величин относительных обилий доминирующих видов. Все расчеты вели с помощью пакета программ PAST 1.89.

Результаты

Лесостепная катена. В исследованных биотопах обнаружен 21 вид раковинных корненожек. Наиболее характерными структурообразующими видами на всех позициях катены явились *Cyclopyxis kahli* и *Centropyxis aerophila sphagnicola*. Эти виды в Островцовской лесостепи входили в состав доминантов в почвах луговых степей и опушечных кустарниковых комплексов. В пределах катены они также значительно преобладали на трех верхних позициях (табл. 1). Среднее относительное обилие этих видов составило 28,9 и 27,9 % соответственно. Вдоль катены возрастает видовое богатство (табл. 1) от 5–7 видов в ксерофитных остепненном лугу и терновнике до 13–14 видов в лесных фитоценозах. Обилие также возрастает от 80–320 экз./г на плакоре до 900–1550 ниже по склону.

Таблица 1

Относительные обилия доминирующих видов
(в среднем более 1 % от общей численности в пределах катены)
и интегральные характеристики сообществ

Вид	Биотоп				
	Луг	Терновник	Осинник	Ольшаник	Ивняк
1	2	3	4	5	6
<i>C. kahli</i>	36,2	33,2	34,4	16,7	24,2
<i>C. a. sphagnicola</i>	40,7	45,7	25,4	14,5	13,2
<i>C. sylvatica</i>	0,0	0,0	10,2	3,4	19,6
<i>Ph. acropodia</i>	5,8	6,6	10,2	6,8	2,6
<i>E. rotunda</i>	5,8	3,7	5,8	8,2	3,9
<i>C. aerophila</i>	11,6	0,0	3,1	5,1	3,9
<i>T. complanatum</i>	0,0	2,9	2,7	9,2	8,6
<i>C. eurytoma</i>	0,0	6,0	2,5	0,0	12,9
<i>D. pyriformis</i>	0,0	0,0	0,0	13,6	0,0

1	2	3	4	5	6
<i>Q. symmetrica</i>	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0
<i>P. declivis</i>	0,0	0,0	1,8	0,0	5,2
<i>T. lineare</i>	0,0	2,2	0,0	3,4	0,0
<i>N. militaris</i>	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0
<i>H. sylvatica</i>	0,0	0,0	1,4	2,4	1,3
Численность, экз./г	86	324	1546	881	1356
Количество видов	5	7	13	13	14
Индекс Пielу	0,82	0,71	0,74	0,94	0,82
Индекс Шеннона	1,32	1,38	1,89	2,40	2,16

По видовой структуре сообщество отчетливо разделяется на два типа (рис. 1). В аккумулятивных позициях катены формируются гидро- (в ольшанике, с характерными гидрофилами *Diffugia pyriformis* и *Quadrullella symmetrica*) и гидрофильный (в ивняке – *Centropyxis sylvatica*, *Cyclopyxis eurystoma*) варианты. В элювиальной и транзитной позициях преобладают *Cyclopyxis kahli* и *Centropyxis aerophila sphagnicola*.

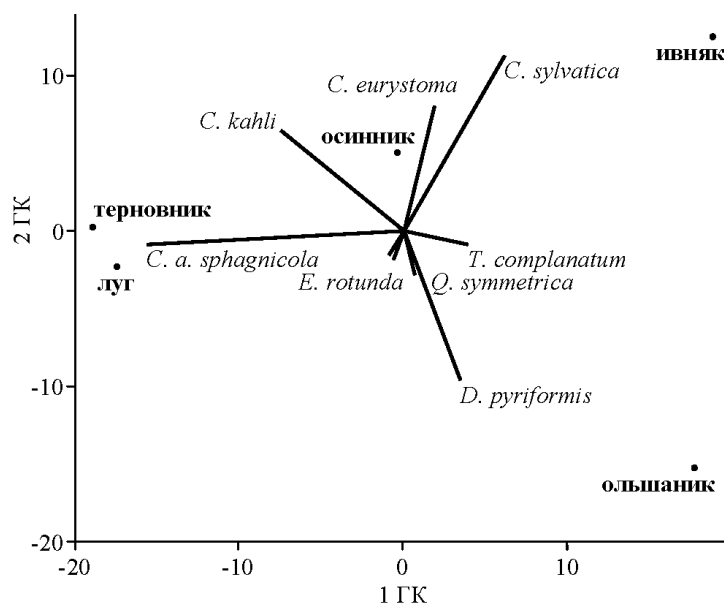


Рис. 1. Результаты ординации сообществ раковинных амёб методом главных компонент: 1 ГК – первая главная компонента (объясняет 68,9 % общей дисперсии видовой структуры); 2 ГК – вторая главная компонента (21,7 %)

Лесные катены. В биотопах первой лесной катены обнаружено 19 видов корненожек. Относительные обилия доминирующих видов представлены в табл. 2. Наиболее характерные доминанты *Trinema complanatum* (в среднем 25,9 %) и *Cyclopyxis kahli* (17,2 %). В сообществах раковинных амёб из аккумулятивных позиций возрастают видовое богатство (9–13 видов против семи на плакоре) и обилие организмов (700–2700 против 100–400 экз./г).

Таблица 2

Относительные обилия доминирующих видов (в среднем более 2,5 % от общей численности в пределах катены) и интегральные характеристики сообществ

Виды	Биотопы			
	Дубрава	Осинник	Ольшаник	Заливной луг
<i>T. complanatum</i>	20,3	17,9	43,6	21,8
<i>C. kahli</i>	20,3	32,1	7,7	8,7
<i>Ph. acropodia</i>	20,3	10,7	0,0	4,4
<i>E. rotunda</i>	10,1	0,0	10,3	13,1
<i>C. a. sphagnicola</i>	0,0	17,9	2,6	13,1
<i>T. lineare</i>	0,0	0,0	0,0	21,8
<i>C. sylvatica</i>	0,0	10,7	5,1	0,0
<i>C. e. parvula</i>	10,0	3,6	0,0	0,0
<i>C. aerophila</i>	10,0	0,0	0,0	0,0
<i>T. dentata</i>	10,0	0,0	0,0	0,0
Численность, экз./г	120	392	2730	696
Количество видов	7	7	13	9
Индекс Пielу	0,98	0,91	0,78	0,92
Индекс Шеннона	1,90	1,77	2,01	2,03

По структуре доминирующего комплекса сообщество разделяется на два варианта (рис. 2). В дубраве и осиннике преобладают *Cyclopyxis kahli* и *Phryganella acropodia*, в ольшанике и заливном лугу – *Trinema complanatum*, *Trinema lineare* и *Euglypha rotunda*.

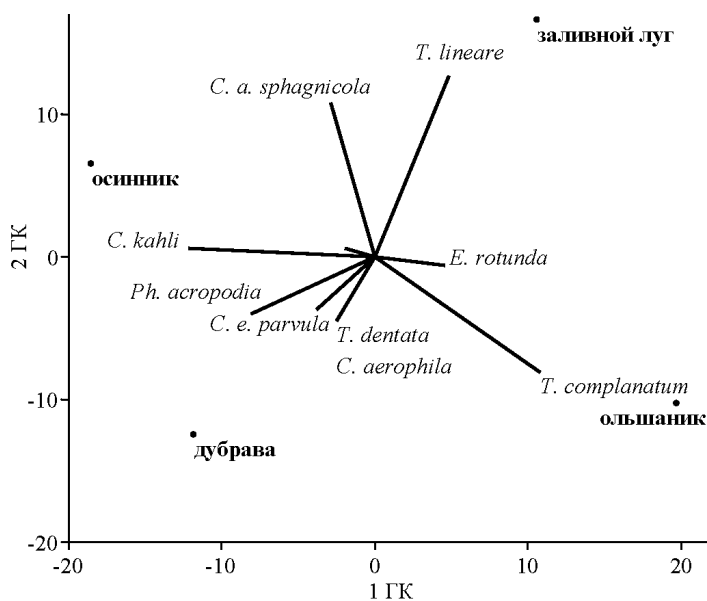


Рис. 2. Результаты ординации сообществ методом главных компонент:
1 ГК объясняет 48,5 % дисперсии видовой структуры; 2 ГК – 28,4 %

В биотопах второй лесной катены также обнаружено 19 видов и форм раковинных амёб. Доминируют (табл. 3) *Cyclopyxis kahli* (28,7 %), *Centropyxis aerophila sphagnicola* (13,1 %), *Phryganella acropodia* (12,5 %). В отличие от

предыдущей катены здесь не отмечено направленных изменений видового богатства (6–8 видов в сосняке, ельнике и торфянике; 10–11 видов – в березняке и ивняке) и обилия организмов (500–700 экз./г в ельнике, березняке и ивняке, 1400–1700 экз./г в сосняке и переходном болоте).

Таблица 3
Относительные обилия доминирующих видов (в среднем более 2,0 % от общей численности в пределах катены) и интегральные характеристики сообществ

Вид	Биотоп				
	Сосняк	Ельник	Березняк	Ветляник	Торфяник
<i>C. kahli</i>	68,2	51,2	20,7	3,3	0,0
<i>C. a. sphagnicola</i>	6,2	25,8	3,0	16,7	13,6
<i>Ph. acropodia</i>	1,0	2,0	5,9	53,5	0,0
<i>C. sylvatica</i>	3,1	0,0	41,3	0,0	0,0
<i>E. rotunda</i>	0,0	11,6	0,0	3,3	27,3
<i>C. aerophila</i>	9,3	0,0	8,9	3,3	13,6
<i>T. complanatum</i>	0,0	7,0	5,9	3,3	9,1
<i>E. laevis</i>	3,1	0,0	0,0	3,3	13,6
<i>C. plagiotoma</i>	0,0	0,0	3,0	0,0	9,1
<i>C. aculeata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1
<i>H. sylvatica</i>	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Численность, экз./г	1404	580	515	664	1694
Количество видов	8	6	11	10	8
Индекс Пielу	0,56	0,72	0,78	0,70	0,94
Индекс Шеннона	1,17	1,29	1,86	1,61	1,96

По видовой структуре сообщества разделяются на три варианта (рис. 3): в верхних позициях (сосняк, ельник) доминирует *Cyclopyxis kahli*, в березняке и торфянике – *Centropyxis sylvatica* и *Euglypha rotunda*, в ивняке – *Phryganella acropodia*.

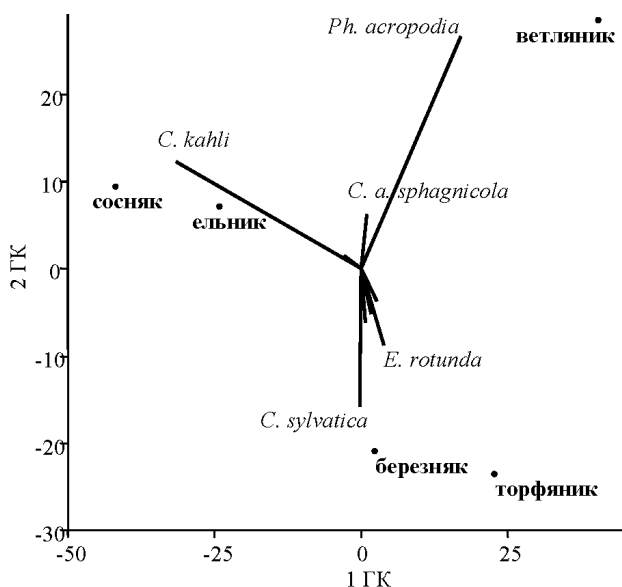


Рис. 3. Результаты ординации сообществ методом главных компонент:
1 ГК – 53,5 %; 2 ГК – 23,3 %

Обсуждение

Ранее в работе А. А. Боброва [24] были выявлены закономерности формирования сообществ почвенных раковинных амёб в почвах катен разных географических районов. В Северной Карелии исследования были проведены в пределах подзоны северной тайги, представляющей собой грядовую и грядово-увалистую равнину. На характер климата оказывали влияние приморское положение и наличие большого количества озёр и рек, что сказывалось в смягчающем воздействии на годовой ход температуры воздуха. В качестве объекта исследования была выбрана катена, охватывающая склон сельги от вершины до перегиба к выположенному участку межсельговой котловины, занятой мезотрофным болотом. Почвы формируются на моренных и озерно-ледниковых отложениях.

Она явилась одной из наиболее богатых по видовому разнообразию катен – 122 вида, варьета и формы раковинных амёб, относящихся к 24 родам. Доминантный комплекс представлен 38 видами, варьетами и формами. Число видов в комплексе изменялось от 8 до 14 видов, что служит косвенной характеристикой выравненности сообществ и их зрелостью. Редкие виды – *Plagiopyxis labiata* и *Hyalosphenia platystoma*. К особенностям распределения видов-доминантов в почвах катены можно отнести то обстоятельство, что ни один вид не входил в доминантный комплекс всех почв. Это подчеркивает резкое различие их экологических условий [24].

В иллювиально-железистом неполнопрофильном подзоле на верхней части склона в доминантный комплекс вошли восемь видов, из них *Plagiopyxis declivis* и *Euglypha strigosa* характерны только для этой почвы. Общее число видов и инфравидовых таксонов равно 49, из которых большая часть представляет подстилочную группу. В средней части склона в сосняке с елью и ельнике с единичными соснами различия в доминантных комплексах незначительны – 12 и 14 видов, большая часть которых входит в комплексы обеих почв. Это виды сфагново-моховой группы. Из них следует отметить вид-доминант *Nebela tubulata*, характерный только для этих сообществ [24].

В краевой части переходного болота в маломощном мезотрофном торфянике отмечен комплекс видов-доминантов, характерный для мезотрофных местообитаний с околонеутральной и слабокислой pH почвенных растворов – *Heleopera petricola*, *Cyphoderia ampulla*, *Centropyxis aculeata*, *Cyclopyxis kahli*, *Euglypha cristata*, *Trinema enchelys*. Представитель мезо- и эутрофных органо-генных почв – *Quadrullella symmetrica* – встречается среди доминантов только этой почвы. В то же время как следствие переходной экотонной ситуации в комплексе доминантов присутствует и сфагнофильный вид, населяющий как правило ологотрофные местообитания – *Hyalosphenia papilio*. Важнейшее следствие этой переходной зоны заключается в наиболее высоком значении видового богатства населения простейших. Таким образом, явление краевого эффекта имеет место и для тестаций [24].

В населении мезотрофного сфагнового болота в торфянике мезотрофном доминируют эврибионтные виды, встречающиеся в составе доминантных комплексов почти всех почв катены, часть видов общая с торфяником дистрофным. В дистрофном торфянике доминантный комплекс состоит из эвритопных видов и видов из сфагново-моховой группы. Особенностью комплекса является присутствие в нем видов-индикаторов ксерофитных условий,

в частности *Corythion dubium*, которые отмечены в верхнем 5-сантиметровом слое [24].

Смена индикаторных видов в почвах катены отражает в основном переход от автоморфных местообитаний к гидроморфным. Гидрофильные виды и сфагнобионты из родов *Diffugia*, *Cyphoderia*, *Quadrullella*, *Archerella* появляются в краевой части переходного болота в маломощном мезотрофном торфянике. Экотонная ситуация находит отражение в высоком видовом разнообразии – 58 видов и инфравидовых таксонов, – что в 2 раза превышает видовое разнообразие в расположенном рядом мезотрофном торфянике и примерно на 25 % выше, чем в торфянисто-подзолистой иллювиально-железистой грунтово-глеевой почве выше по склону.

Плотность населения раковинных амёб была рассчитана для генетических горизонтов [24]. Максимум отмечен в верхних 10 см иллювиально-железистого подзола – 46 840 экз./г абсолютно сухой почвы. Профильное распределение тестаций в органоминальных почвах аккумулятивного типа характеризуется снижением числа видов и их плотности вниз по профилю. В органогенных почвах максимум отмечен под слоем живого мха. В мезотрофном торфянике отмечено увеличение числа видов и их плотности вниз по профилю. Плотность увеличилась более чем на порядок – от 3320 экз./г до 53 180 экз./г.

Другой ключевой участок был заложен на берегу о. Космозеро [24]. Он охватывал сельговую грядку и два межсельговых понижения. Почвообразующие породы представлены элюво-делювиями коренных пород на вершинах сельг, мореной – на склонах, коллювием – на крутых склонах и у их подножия, озерно-ледниковыми ленточными глинами и органогенными отложениями – в межсельговых понижениях. Состав растительных ассоциаций связан с положением в рельефе. Он менялся от сосняков зеленомошных с елью и хорошо выраженным травяно-кустарничковым ярусом на вершинах сельг до смешанных сосново-березово-осиновых лесов в плоском межсельговом понижении и березово-осиновых лесов с типично болотными растениями и сфагновым моховым покровом в более глубоком заболоченном понижении.

В почвах катены найден 121 вид и внутривидовой таксон раковинных амёб [24]. Доминантный комплекс представлен 25 видами, вариететами и формами. Отмечены следующие закономерности изменения состава сообществ раковинных амёб в почвах сельг и межсельговых понижений. От автономных позиций к подчиненным в почвах катены меняется видовое разнообразие – от 21 вида в подбуре увеличивается до 53 в торфяно-глеевой почве. Изменяется структура сообщества за счет смены экологических групп раковинных амёб. Автономные почвы вершины сельги и ее склона характеризуются доминантными комплексами тестаций, в составе которых находятся в основном эврибионты и представители сфагново-моховой группы простейших – *Centropyxis aerophila*, *C. aerophila sphagnicola*, *C. sylvatica*, *Cyclopyxis eurystoma*, *Phryganella acropodia*, *Nebela bohémica*, *N. militaris*, *Assulina muscorum*, *Trinema lineare*. Специфика гидрологического режима в одном из двух межсельговых понижений в подзоле поверхностно-оглеенном проявилась в высокой плотности сфагново-мохового вида *N. lageniformis*. В мезотрофном болоте в доминантный комплекс вошли *Centropyxis platystoma*, *Quadrullella symmetrica*. Группировка сообществ ризопод почв катены разделяет их на две большие группы авто- и гидроморфных местообитаний.

По катене происходит смена видов в составе доминантного комплекса. В верхней части катены, в автономных почвах доминантный комплекс состоит из аэрофильных эвритопных видов, часть из которых является индикатором ксероморфных условий – *Centropyxis aerophila*, *C. aerophila sphagnicola*, *C. sylvatica*, *Cyclopyxis eurystoma*, *Phriganella acropodia*, *Nebela bohémica*, *N. lageniformis*, *N. militaris*, *Corythion orbicularis*, *Euglypha laevis*, *Plagiopyxis penardi*, *Assulina muscorum*. Средняя часть катены характеризуется сообществом тестаций, в доминантный комплекс которого входят виды с широкой экологией – *Trinema lineare*, *T. enchelys*, *Centropyxis cassis*, *C. sylvatica minor*. В межсельговом понижении отмечены сфагнофильные виды из родов *Heleopera*, *Hyalosphenia*, *Nebela*, *Euglypha*, а также виды, характерные для мезотрофных и эвтрофных местообитаний из родов *Cyphoderia*, *Qaudrulella*, *Sphenoderia*, *Diffugia*. Из редких видов отмечена находка *Geamphorella lucida*. В переходной экотонной зоне отмечено максимальное для почв катены видовое разнообразие простейших [24].

Кроме того, работы проводились на территории Валдайского конечного-моренного округа в Новгородской области [24]. Растительность представлена елово-лиственными лесами. На песках растут сосновые боры. На аллювиальных навесных песчаных отложениях формируются подзолы и ржавоземы. В пониженных элементах рельефа располагаются подзолы. В почвах соснового леса на аллювиальных песчаных отложениях найдено 53 вида, вариетета и формы раковинных амёб. Доминантный комплекс представлен 15 видами, вариететами и формами. Доминантные комплексы почв катены в общих чертах схожи. Незначительные отличия касаются плотности таких видов, как *Trigonopyxis arcuata*, *T. minuta*, а также *Schoenbornia viscicula*. Первые два вида характеризуют грубогумусные местообитания, экология последнего вида известна только в общих чертах и, по-видимому, схожа с экологией видов рода *Trigonopyxis*.

Часть видов из минорной группы встречается только в почвах определенной части катены. В верхней части склона – *Trinema lineare truncatum*, *Plagiopyxis penardi*, *Euglypha strigosa*, *C. sylvatica minor*; средней части склона – *Euglypha compressa*, *E. ciliata glabra*, *Tracheleuglypha dentata*; нижней части – *E. ciliata glabra*, *Assulina seminulum*, *Diffugiella oviformis*. Смена этих видов отражает пространственную неоднородность местообитаний и в значительной мере обусловлена стохастическими процессами. Можно также предположить, что большее видовое богатство тестаций в ржавоземе верхней части склона связано с кислой средой и более грубым составом органического вещества. В сравнении с почвами ельников, в почвах соснового леса отмечена низкая плотность населения раковинных амёб [24].

Четвертая катена рассматривалась А. А. Бобровым [24] в Костромской области, в заказнике «Кологривский лес», который является одним из эталонных ландшафтов южной тайги. Заказник расположен на южных склонах Северных Увалов в пределах Среднерусской провинции. Здесь под липоельниками формируются на тяжелых покровных суглинках собственно подзолистые грубогумусные почвы без аккумулятивного горизонта.

В почвах катены 300-летнего ельника обнаружено 84 вида и внутривидовых таксона раковинных амёб. Доминантный комплекс представлен 18 видами, вариететами и формами. Каких-либо редких видов простейших не най-

дено, практически все виды принадлежат к эврихорной группе организмов. Видовое разнообразие раковинных амёб в почвах катены выше в автономной части склона (подзолистая почва). Обращает на себя внимание число видов в ферментативном слое подстилки – 59 видов и внутривидовых таксонов. Эта цифра сравнима с видовым разнообразием в почвах транзитной и аккумулятивной частей склона. В буроземе наиболее низкое видовое разнообразие – 47 видов, несколько выше – 51 вид – в дерново-грунтово-глеевой почве.

Особенности профильного распределения числа видов:

1) в подзолистой почве и буроземе основное видовое разнообразие приурочено к подстилке;

2) в дерново-грунтово-глеевой почве число видов по горизонтам изменяется незначительно, при этом это одни и те же виды.

В гумусо-аккумулятивном слое этой почвы на составе сообщества простейших сказались высокое содержание гумуса и благоприятный гидрологический режим [24].

В доминантный комплекс сообщества подзолистой почвы, кроме эвритопных видов, вошли виды из мохово-сфагновой и почвенной групп [24]. В буроземе подстилочная группа была замещена эвритопными и почвенными видами. В нижней части склона доминантный комплекс представлен мохово-почвенным *Centropyxis elongata*, мохово-сфагновым *Trigonopyxis arcuata*, видом, населяющим грубогумусные подстилки, и почвенным *Tracheleuglypha dentata*. В верхней части склона представлена группа подстилочных видов – *Euglypha ciliata glabra*, *E. compressa*, *E. strigosa glabra*. В транзитной части склона среди индикаторных видов в минорной группе присутствовали *Centropyxis elongata*, *Plagiopyxis penardi*, *Diffugia lucida* – комплекс гидрофильных видов, предпочитающих слабоокислую или околонеутральную обстановку. Индикаторные виды в аккумулятивной части склона – *Arcella rotundata*, *Euglypha tuberculata*, *Archerella flavum*. Гидрофильные и сфагнофильные виды в комплексе с почвенным *Cyclopyxis puteus* [24].

Аналогичные исследования были проведены А. А. Рахлеевой [27] в Окском заповеднике. Пробные участки были расположены на склоне водораздела, спускающемся к долине р. Пры. Его протяженность составляет 12 км. Изучались комплексы тестаций в почвах, формирующихся под характерными группировками лесов, от верхней части склона водораздела до поймы: ельник черничный, сосняк зеленомошный, сложный сосняк, пойменная дубрава.

А. А. Рахлеева, характеризуя смену комплексов раковинных амёб вдоль катены, расположенной на склоне водораздела, спускающегося к долине реки Пра, отмечала, что от верхнего участка склона к нижнему в большей или меньшей степени меняются такие структурные характеристики, как состав морфотипов, численность, состав видов-доминантов, экологические преферендумы. В изученном ряду местообитаний более благоприятными для существования раковинных амёб являются крайние позиции (верхние горизонты почв ельника черничного и ландышевой дубравы). Средние участки (сосняк зеленомошный и сложный сосняк) меньше заселяются данной группой почвенных животных. Вниз по склону увеличивалось число видов раковинных амёб, тяготеющих к почве (как и в наших исследованиях). Однако это условие может не выполняться, что связано со спецификой биотопа. Вниз по склону снижается доля моховых видов от хвойных лесов к лиственным, что связано с изменением характера подстилок.

В статье Рахлеевой [26] об изменении структуры и разнообразия комплексов почвенных тестачей по элементам мезорельефа Южной Мещеры отмечается преобладание семейств *Cyclopyxidae*, *Plagiopyxidae*, *Arcellidae*, *Trinematiidae*, *Diffugiidae*, *Centropyxidae*, *Euglyphidae*. Раковинки обнаруженных видов относятся к акростомным и плагиостомным формам. В наших же исследованиях не были обнаружены виды из семейства *Diffugiidae*, и в очень небольших количествах представлены виды из семейств *Plagiopyxidae*, *Arcellidae*. Преобладающим типом раковинок является плагиостомные и циклостомные. Эти различия, возможно, связаны с разным характером растительности и преобладающим типом почвы: в основном подзолистые почвы, и только нижняя позиция представлена аллювиальной светло-серой лесной почвой. Вниз по склону увеличивалось число видов раковинных амёб, тяготеющих к почве (на вершине 8 % собственно почвенных видов, на нижних участках 22 %). Высокая численность тестачей наблюдается в подстилке дубравы, так как здесь высокий процент полевой влажности 77 %. Здесь происходит ежегодное затопление паводковыми водами.

В западносибирской катене [28] по видовому составу наиболее сильно отличаются сообщества из низового болота, где обитает 10 характерных только для этих увлажненных биотопов гидрофильных вида из родов *Arcella*, *Netzelia*, *Cyphoderia*. По структуре доминирующего комплекса видов разделяются сообщества из пойменных биогеоценозов с преобладанием эврибионтных филозных корненожек *Trinema lineare*, *Trinema enchelys*, *Euglypha rotunda*, а также из сосновых и осиново-березовых лесов с массовым развитием как мелких филозных амёб *Euglypha laevis*, *Assulina muscorum*, так и более крупных почвообитающих лобозных ризопод *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila*, *Cyclopyxis kahli*. По набору характерных форм наиболее специфичны локальные сообщества из ксерофитных сосняков, где, помимо вышеупомянутых доминантов, развивается типичная почвенная группировка раковинных корненожек, включая представителей с криптостомными (*Plagiopyxis callida*, *Plagiopyxis penardi*, *Plagiopyxis declivis*) и центростомными (*Trigonopyxis minuta*) раковинками.

Численность была максимальна в низовом болоте, где в отдельных пробах (хвощевые парцеллы) она достигает 1 млн экз./г за счет массового развития мелких эврибионтов *Trinema lineare* и *T. enchelys* [28]. Минимальные обилия отмечены в сосняках (1–2 тыс. экз./г). В березовых и осиново-березовых лесах численность колеблется в пределах 10–50 тыс. экз./г. Локальное видовое богатство (в среднем на пробу) минимально в сосняках (семь видов) и не отличается достоверно в других биогеоценозах (17–19 видов). При этом за счет большей пространственной гетерогенности в низовом болоте обнаружено значительно большее видовое богатство (48 видов) по сравнению с лесами (19–36 видов).

Таким образом, вдоль исследованных нами катен отмечено закономерное изменение структуры сообществ раковинных амёб в соответствии со сменами фитоценозов, типов почв, уровня увлажненности от элювиальных позиций на плакоре через транзитные к аллювиальным частям ландшафта. В целом смена видов-доминантов и индикаторных видов в почвах разных катен отражает переход от автоморфных местообитаний к гигро- или гидро-морфным. Как правило, сообщество раковинных корненожек в катене диф-

ференцировано на варианты, соответствующие элювиальным, транзитным и аккумулятивным зонам склона. Это разделение связано со сменой доминантов и появлением индикаторных видов, в первую очередь гидрофилов на аккумулятивных позициях. Вместе с тем часть видов эвритофов (в том числе и входящих в состав доминирующего комплекса, например, *Cyclopyxis kahli*, *Centropyxis sylvatica*, *Centropyxis aerophila sphagnicola*, *Trinema complanatum*) входит в состав локальных сообществ всех участков катен.

Общая закономерность проявляется в возрастании видового богатства и обилия раковинных корненожек вниз по катене. Однако это правило может в некоторых случаях и не выполняться, что связано со спецификой конкретных биотопов. Как и в предыдущих работах [24–26, 28, 30], не было отмечено возрастания видового богатства в транзитных зонах, что более характерно для почвенной мезофауны [21].

Зональная специфика проявляется в меньшем видовом богатстве и обилии раковинных амёб в лесостепи по сравнению с таежной зоной. На качественном уровне особенности сообществ проявляются в доминировании эврибионтов в черноземных и серых лесных лесостепи и бриофилов в подзолах и болотных почвах северной тайги.

Список литературы

1. **Anderson, O. R.** C-biomass of bacteria, fungi, and protozoan communities in arctic tundra soil, including some trophic relationships / O. R. Anderson, K. McGuire // *Acta Protozoologica*. – 2013. – Vol. 52 (4). – P. 217–227.
2. **Krashevskaya, V.** Moderate changes in nutrient input alter tropical microbial and protist communities and belowground linkages / V. Krashevskaya, D. Sandmann, M. Maraun, S. Scheu // *ISME Journal*. – 2014. – Vol. 8. – P. 1126–1134.
3. **Meyer, C.** Using testate amoeba as potential biointegrators of atmospheric deposition of phenanthrene (polycyclic aromatic hydrocarbon) on “moss/soil interface-testate amoeba community” microecosystems / C. Meyer, D. Desalme, N. Bernard, P. Binet, M.-L. Toussaint, D. Gilbert // *Ecotoxicology*. – 2013. – Vol. 22. – P. 287–294.
4. **Puppe, D.** Dynamics and drivers of the protozoic Si pool along a 10-year chronosequence of initial ecosystem states / D. Puppe, D. Kaczorek, M. Wanner, M. Sommer // *Ecological Engineering*. – 2014. – Vol. 70. – P. 477–482.
5. **Sommer, M.** Si cycling in a forest biogeosystem – the importance of transient state biogenic Si pools / M. Sommer, H. Jochheim, A. Höhn, J. Breuer, Z. Zagorski, J. Busse, D. Barkusky, K. Meier, D. Puppe, M. Wanner, D. Kaczorek // *Biogeosciences*. – 2013. – Vol. 10. – P. 4991–5007.
6. **Wanner, M.** Immediate effects of prescribed burning on terrestrial testate amoebae in a continental Calluna heathland / M. Wanner // *Ecological Engineering*. – 2012. – № 42. – P. 101–106.
7. **Wilkinson, D. M.** The past, present and future of soil protist ecology / D. M. Wilkinson, A. L. Creevy, J. Valentine // *Acta Protozoologica*. – 2012. – Vol. 51. – P. 189–199.
8. **Ehrmann, O.** Testate amoebae in 31 mature forest ecosystems – Densities and micro-distribution in soils / O. Ehrmann, D. Puppe, M. Wanner, D. Kaczorek, M. Sommer // *European Journal of Protistology*. – 2012. – Vol. 48. – P. 161–168.
9. **Tsyganov, A. N.** Additive partitioning of testate amoeba species diversity across habitat hierarchy within the pristine southern taiga landscape (Pechora-Ilych Biosphere Reserve, Russia) / A. N. Tsyganov, A. A. Komarov, E. A. D. Mitchell, S. Shimano, O. V. Smirnova, A. A. Aleynikov, Yu. A. Mazei // *European Journal of Protistology*. – 2015. – Vol. 51. – P. 42–54.

10. **Vohník, M.** Testate amoebae communities in the rhizosphere of *Rhododendron ponticum* (Ericaceae) in an evergreen broadleaf forest in southern Spain / M. Vohník, Z. Burdík, D. M. Wilkinson // *Acta Protozoologica*. – 2012. – Vol. 51. – P. 259–269.
11. **Мазей, Ю. А.** Структура сообщества почвенных раковинных амёб в Островцовской лесостепи (Среднее Поволжье): эффект лесостепного градиента / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Успехи современной биологии*. – 2008. – Т. 128, № 5. – С. 508–516.
12. **Мазей, Ю. А.** Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Аридные экосистемы*. – 2009. – Т. 15, № 37. – С. 13–23.
13. **Мазей, Ю. А.** Раковинные амёбы в почвах лесостепных биогеоценозов / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Труды Государственного заповедника «Приволжская лесостепь»*. Вып. 2. Биологическое разнообразие и динамика природных процессов в заповеднике «Приволжская лесостепь». – Пенза : ГПЗ «Приволжская лесостепь», 2012. – С. 172–184.
14. **Мазей, Ю. А.** Раковинные амёбы в почвах лесостепных биогеоценозов (по материалам заповедника «Приволжская лесостепь») / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева, А. С. Трулова // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2013. – № 2. – С. 5–26.
15. **Блинохватова, Ю. В.** Внутрипарцеллярное распределение раковинных амёб в сосновых и дубовых лесах / Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2011. – № 1. – С. 53–60.
16. **Мазей, Ю. А.** Особенности микропространственного распределения почвообитающих раковинных амёб в лесах Среднего Поволжья / Ю. А. Мазей, Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева // *Аридные экосистемы*. – 2011. – Т. 17, № 46. – С. 37–46.
17. **Малышева, Е. А.** Особенности структуры сообществ раковинных амёб в микрорекотонах «моховая подушка – почвенная подстилка» / Е. А. Малышева, Ю. А. Мазей // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки*. – 2010. – № 16 (20). – С. 51–53.
18. **Блинохватова, Ю. В.** Структура сообществ почвообитающих раковинных амёб в сосновых лесах в разных пространственных масштабах исследования / Ю. В. Блинохватова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки*. – 2011. – № 25. – С. 312–316.
19. **Трулова, А. С.** Сезонные изменения структуры сообщества почвообитающих раковинных амёб в лесостепных биогеоценозах Среднего Поволжья / А. С. Трулова, Е. А. Ембулаева, Ю. А. Мазей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2013. – Т. 1, № 9 (13). – С. 25–32.
20. **Мазей, Ю. А.** Структура сообществ почвообитающих простейших в лесах, находящихся на разных стадиях восстановительной сукцессии (Среднее Поволжье) / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2014. – № 4 (8). – С. 94–107.
21. **Мордкович, В. Г.** Степные катены / В. Г. Мордкович, Н. Г. Шатохина, А. А. Титлянова. – Новосибирск : Наука, Сибирское отд-е, 1985. – 115 с.
22. **Полынов, Б. Б.** Геохимические ландшафты / Б. Б. Полынов // *Избранные труды*. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 477–486.
23. **Стойко, Т. Г.** Структура сообщества наземных раковинных моллюсков в лесостепной катене / Т. Г. Стойко, О. В. Булавкина, Ю. А. Мазей // *Зоол. журн*. – 2009. – Т. 88, № 10. – С. 1155–1162.
24. **Бобров, А. А.** Эколого-географические закономерности распространения и структуры сообществ раковинных амёб (Protozoa: Testacea) : дис. ... д-ра биол. наук / Бобров А. А. – М. : МГУ, 1999. – 341 с.
25. **Tsyganov, A.** Distribution of soil testate amoeba assemblages along catenas in the northern taiga zone (Karelia, Russia) / A. Tsyganov, E. Embulaeva, Yu. Mazei // *Protistology*. – 2012. – Vol. 7, № 2. – P. 71–78.

26. **Рахлеева, А. А.** Изменение структуры и разнообразия комплексов почвенных тестаций (Testacea, Protozoa) по элементам мезорельефа Южной Мещеры / А. А. Рахлеева // Известия РАН. Сер. Биол. – 1998. – № 6. – С. 749–754.
27. **Рахлеева, А. А.** Особенности пространственного распределения раковинных амёб (Testacea, Protozoa) в равнинном ландшафте (на примере Южной Мещеры) : дис. ... канд. биол. наук / Рахлеева А. А. – М. : ИПЭЭ РАН, 2000. – 176 с.
28. **Чернышов, В. А.** Сообщества почвообитающих раковинных амёб в биогеоценозах подтаежной зоны Западной Сибири и их изменения вдоль ландшафтных катен / В. А. Чернышов, Ю. А. Мазей // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки. – 2010. – № 17 (21). – С. 66–73.
29. **Мазей, Ю. А.** Пресноводные раковинные амёбы / Ю. А. Мазей, А. Н. Цыганов. – М. : Т-во научных изданий КМК, 2006. – 300 с.
30. **Fernández, L. D.** Source-sink dynamics shapes the spatial distribution of soil protists in an arid shrubland of northern Chile / L. D. Fernández // Journal of Arid Environments. – 2015. – Vol. 113. – P. 121–125.

References

1. Anderson O. R., McGuire K. *Acta Protozoologica*. 2013, vol. 52 (4), pp. 217–227.
2. Krashevskaya V., Sandmann D., Maraun M., Scheu S. *ISME Journal*. 2014, vol. 8, pp. 1126–1134.
3. Meyer C., Desalme D., Bernard N., Binet P., Toussaint M.-L., Gilbert D. *Ecotoxicology*. 2013, vol. 22, pp. 287–294.
4. Puppe D., Kaczorek D., Wanner M., Sommer M. *Ecological Engineering*. 2014, vol. 70, pp. 477–482.
5. Sommer M., Jochheim H., Höhn A., Breuer J., Zagorski Z., Busse J., Barkusky D., Meier K., Puppe D., Wanner M., Kaczorek D. *Biogeosciences*. 2013, vol. 10, pp. 4991–5007.
6. Wanner M. *Ecological Engineering*. 2012, no. 42, pp. 101–106.
7. Wilkinson D. M., Creevy A. L., Valentine J. *Acta Protozoologica*. 2012, vol. 51, pp. 189–199.
8. Ehrmann O., Puppe D., Wanner M., Kaczorek D., Sommer M. *European Journal of Protistology*. 2012, vol. 48, pp. 161–168.
9. Tsyganov A. N., Komarov A. A., Mitchell E. A. D., Shimano S., Smirnova O. V., Aleynikov A. A., Mazei Yu. A. *European Journal of Protistology*. 2015, vol. 51, pp. 42–54.
10. Vohnik M., Burdiková Z., Wilkinson D. M. *Acta Protozoologica*. 2012, vol. 51, pp. 259–269.
11. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Progress of modern biology]. 2008, vol. 128, no. 5, pp. 508–516.
12. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2009, vol. 15, no. 37, pp. 13–23.
13. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Trudy Gosudarstvennogo zapovednika «Privolzhskaya lesostep'»*. Vyp. 2. *Biologicheskoe raznoobrazie i dinamika prirodnikh protsessov v zapovednike «Privolzhskaya lesostep'»* [Proceedings of the Privolzhskaya forest-steppe state reserve. Issue 2. Biological diversity and dynamics of natural processes in the Privolzhskaya forest-steppe reserve]. Penza: GPZ «Privolzhskaya lesostep'», 2012, pp. 172–184.
14. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A., Trulova A. S. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2013, no. 2, pp. 5–26.
15. Blinokhvatoeva Yu. V., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problema nastoyashchego plus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2011, no. 1, pp. 53–60.
16. Mazei Yu. A., Blinokhvatoeva Yu. V., Embulaeva E. A. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems]. 2011, vol. 17, no. 46, pp. 37–46.

17. Malysheva E. A., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural sciences]. 2010, no. 16 (20), pp. 51–53.
18. Blinokhvatoeva Yu. V., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural sciences]. 2011, no. 25, pp. 312–316.
19. Trulova A. S., Embulaeva E. A., Mazei Yu. A. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2013, vol. 1, no. 9 (13), pp. 25–32.
20. Mazei Yu. A., Embulaeva E. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [University proceedings. Volga region. Natural sciences]. 2014, no. 4 (8), pp. 94–107.
21. Mordkovich V. G., Shatokhina N. G., Titlyanova A. A. *Stepnye kateny* [Steppe catenas]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otd-e, 1985, 115 p.
22. Polynov B. B. *Izbrannye trudy* [Selected works]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1956, pp. 477–486.
23. Stojko T. G., Bulavkina O. V., Mazei Yu. A. *Zool. zhurn.* [Zoological journal]. 2009, vol. 88, no. 10, pp. 1155–1162.
24. Bobrov A. A. *Ekologo-geograficheskie zakonomernosti rasprostraneniya i struktury soobshchestv rakovinykh ameb (Protozoa: Testacea): dis. d-ra biol. nauk* [Ecological-geographical regularities of distribution and structure of testate amoeba communities (Protozoa: Testacea): dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences]. Moscow: MGU, 1999, 341 p.
25. Tsyganov A., Embulaeva E., Mazei Yu. *Protistology*. 2012, vol. 7, no. 2, pp. 71–78.
26. Rakhleeva A. A. *Izvestiya RAN. Ser. Biol.* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series]. 1998, no. 6, pp. 749–754.
27. Rakhleeva A. A. *Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya rakovinykh ameb (Testacea, Protozoa) v ravninnom landshafte (na primere Yuzhnoy Meshchery): dis. kand. biol. nauk* [Features of spatial distribution of testate amoebas (Protozoa, Testacea) in plain landscapes (by the example of the South Meshchera): dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences]. Moscow: IPEE RAN, 2000, 176 p.
28. Chernyshov V. A., Mazei Yu. A. *Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo. Estestvennye nauki* [Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V. G. Belinsky. Natural Sciences]. 2010, no. 17 (21), pp. 66–73.
29. Mazei Yu. A., Tsyganov A. N. *Presnovodnye rakovinye ameby* [Limnetic testate amoebas]. Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 300 p.
30. Fernández L. D. *Journal of Arid Environments*. 2015, vol. 113, pp. 121–125.

Мазей Юрий Александрович

доктор биологических наук, профессор,
кафедра зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yurimazei@mail.ru

Mazei Yuri Alexandrovich

Doctor of biological sciences, professor,
sub-department of zoology and ecology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Ембулаева Елена Александровна

кандидат биологических наук, научный
сотрудник, кафедра зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: embulaewa@mail.ru

Embulaeva Elena Alexandrovna

Candidate of biological sciences, researcher,
sub-department of zoology and ecology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 593.11

Мазей, Ю. А.

Изменения сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль катен в лесостепной зоне / Ю. А. Мазей, Е. А. Ембулаева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 1 (9). – С. 98–114.

Вниманию авторов!

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области биологии, химии, географии, экологии, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows (тип файла – RTF, DOC).

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах. Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата A4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полупетельный интервал. Статья **обязательно** должна содержать индекс УДК, ключевые слова и развернутую аннотацию объемом от 100 до 250 слов, имеющую четкую структуру **на русском** (Актуальность и цели. Материалы и методы. Результаты. Выводы) **и английском** (Background. Materials and methods. Results. Conclusions) **языках**.

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

Формулы в тексте статьи **обязательно** должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word Equation (версия 3.0) или MathType. Символы греческого и русского алфавитов должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать **очередности ссылок** на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. **Требования к оформлению списка литературы** на русские и иностранные источники: **для книг** – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц; **для журнальных статей, сборников трудов** – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, страницы; **для материалов конференций** – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам статьи **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, место и юридический адрес работы (на русском и английском языках), e-mail, контактные телефоны (желательно сотовые).

Обращаем внимание авторов на то, что перевод имен собственных на английский язык в списке литературы осуществляется автоматически с использованием программы транслитерации в кодировке BGN (сайт translit.ru). Для обеспечения единообразия указания данных об авторах статей во всех реферируемых базах при формировании авторской справки при подаче статьи необходимо представить перевод фамилии, имени, отчества каждого автора на английский язык, или он будет осуществлен автоматически в программе транслитерации в кодировке BGN.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.

Уважаемые читатели!

Для гарантированного и своевременного получения журнала **«Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки»** рекомендуем вам оформить подписку.

Журнал выходит 4 раза в год по тематике:

- **биология**;
- **химия**;
- **география**;
- **экология**.

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: тел./факс (841-2) 36-84-87; E-mail: VolgaVuz@mail.ru

Подписку можно оформить по объединенному каталогу «Пресса России», тематические разделы: «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов», «Природа. Мир животных и растений. Экология», «Химия. Нефтехимия. Нефтегазовая промышленность». Подписной индекс – 70238.

ЗАЯВКА

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» на 20__ г.

№ 1 – _____ шт., № 2 – _____ шт., № 3 – _____ шт., № 4 – _____ шт.

Наименование организации (полное) _____

ИНН _____ КПП _____

Почтовый индекс _____

Республика, край, область _____

Город (населенный пункт) _____

Улица _____ Дом _____

Корпус _____ Офис _____

ФИО ответственного _____

Должность _____

Тел. _____ Факс _____ E-mail _____

Руководитель предприятия _____
(подпись) (ФИО)

Дата «___» _____ 20__ г.