

ЭКОЛОГИЯ

УДК 593.11

doi: 10.17223/19988591/35/10

И.В. Курьина, Н.В. Климова

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
г. Томск, Россия*

Сообщества раковинных амёб (Rhizopoda, Testaceafilosea, Testacealobosea) в болотных местообитаниях после воздействия пожаров (юг Западной Сибири)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-34-60057 мол_а_дк.

*Исследование направлено на анализ особенностей видовой структуры сообществ раковинных амёб в болотных местообитаниях после воздействия пожара. Объектами исследования являются выгоревшие участки верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот в подзоне южной тайги и зоне лесостепи Западной Сибири. Проведено сравнение сообществ раковинных амёб на мертвопокровных участках и участках с восстановленным сфагновым покровом в пределах одного и того же болота. Использование индексов сходства и метода разрежения по Колеману (Cole rarefaction) выявило тенденцию обеднения видового состава сообществ раковинных амёб в биотопах, затронутых пожаром. На выгоревших участках болот наблюдается единичное появление видов раковинных амёб, характерных для мезоэвтрофных болот и для минеральных почв. Происходит изменение не только видового состава сообществ, но и в соотношениях видов между собой. Сообщества раковинных амёб в местообитаниях после воздействия пожара отличаются более высокими значениями индекса видового разнообразия Шеннона и выровненности структуры. На мертвопокровных участках выгоревших болот отмечено увеличение доли относительного обилия видов из родов *Trigonopyxis*, *Corythion*, *Trineta*.*

Ключевые слова: раковинные амёбы; пожар; рям; верховое болото.

Введение

Пожары по своей распространенности и силе воздействия являются существенным фактором, влияющим на природную среду в современных условиях. Однако влияние пожара на почвенную фауну изучено слабо и недостаточно. В последнее время наблюдается рост числа публикаций, посвященных этому вопросу [1–5]. По мнению А.С. Зайцева с соавт. [6], одной из основных причин относительно небольшого числа исследований, направленных на изу-

чение влияния последствий пожаров на почвенных обитателей, является многообразие этого явления и соответственно высокая степень вариабельности его последствий. Это осложняет возможности классификации наблюдаемых пожаров, выявление закономерностей и сравнительный анализ результатов, полученных разными авторами. Все же в ряде работ [3–5, 7] прослеживается сходная тенденция воздействия пожаров на различные группы почвенной фауны – они вызывают снижение численности и биомассы, а также отражаются на изменении видовой структуры почвенных зооценозов.

Пожары по-разному влияют на различные группы почвенных организмов. В отличие от обитателей подстилки, преимущественно мигрирующих по поверхности почвы, собственно почвенные обитатели (геобионты) оказываются в некоторой степени защищенными от воздействия пожара слоем почвы, в которой они обитают [3]. При этом некоторые почвенные беспозвоночные могут мигрировать вглубь почвы на время пожара и таким образом избегать его последствия, тогда как микроорганизмы, не способные к подобным миграциям, страдают от пожаров сильнее [7]. Раковинные амёбы – мелкие одноклеточные организмы, которые встречаются в разных типах почв. Они населяют водные пленки вокруг почвенных частиц и являются представителями почвенной нанофауны [8]. Жизненное пространство отдельных особей не превышает объема нескольких кубических сантиметров [9]. Эти простейшие не способны мигрировать вглубь почвы. В то же время раковинные амёбы являются важным и многочисленным компонентом почвенной фауны. Они играют большую роль в биологическом круговороте веществ и пищевых сетях [10, 11]. Кроме того, они являются чувствительными биоиндикаторами изменений среды, даже кратких и непродолжительных, и поэтому широко используются в палеоэкологических исследованиях и экологическом мониторинге [12]. В связи с большой практической значимостью палеоэкологических реконструкций, основанных на данных о раковинных амёбах, сохраняющихся в торфяных залежах болот, особый интерес представляет воздействие пожаров на фауну болотных почв.

Пожары на болотах отличаются от пожаров на суходолах. Кроме того, различные типы болот горят по-разному. Соответственно по-разному они и восстанавливаются после возгорания. Это зависит, с одной стороны, от интенсивности и продолжительности пожаров [7]; с другой стороны, от особенностей самого болота. В отдельных работах показано, что восстановление болот после пожара может затягиваться на долгие годы [13–15]. Особенно сильно горят сосново-кустарничково-сфагновые болота (рямы) [16–18], а также осушенные участки болот [13]. Основная опасность заключается в том, что низовой пожар на болоте легко перерастает в почвенно-торфяной пожар [13] и таким образом оказывает более сильное воздействие на почвенную фауну, чем в минеральных почвах на суходолах.

На территории Западной Сибири рямы встречаются на протяжении всей таежной зоны, однако наиболее широко представлены в южной тайге. Лесо-

степная зона является южной границей их распространения [19], и именно здесь рьямы наиболее часто подвергаются выгораниям [17, 18]. Пожары привлекают все более пристальное внимание ученых на фоне происходящих климатических изменений. В последнее время на юге Сибири пожары стали очень частым и масштабным явлением как следствие жаркой засушливой погоды в летние сезоны года [20].

Сведения о воздействии пожаров на структуру сообществ почвенных раковинных амёб немногочисленны и противоречивы. В одних исследованиях [10, 21] выявлены изменения в видовой структуре сообществ, в других [11, 22] – не обнаружено значительного влияния пожаров на комплексы этих почвенных простейших. Результаты упомянутых исследований очень сложно сопоставлять между собой, так как в перечисленных работах отличаются как пожары по силе и длительности воздействия, так и исследованные биотопы, от которых во многом зависит и структура сообществ раковинных амёб. Это дополнительно подчеркивает слабую изученность данного вопроса.

Цель нашей работы – обнаружить особенности проявления последствий пожаров в структуре сообществ раковинных амёб, населяющих болотные местообитания.

Для изучения нами выбраны объекты, находящиеся в состоянии многолетнего постепенного восстановления после выгорания. В таких болотных местообитаниях мы предполагаем выявить изменения видового состава, нарушения видовой структуры и снижение плотности населения сообществ раковинных амёб как реакцию организмов-биоиндикаторов на последствия пожара.

Материалы и методики исследования

Объектами для исследования послужили выгоревшие участки верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот (рямов) с разной степенью нарушенности на территории лесостепи и южнотаежной подзоны Западной Сибири (табл. 1).

В лесостепной зоне болота занимают около 8% территории [19]. Среди них преобладают низинные травяные (займища) и осоково-гипновые болота. Рьямы встречаются повсеместно среди займищ, однако не достигают больших размеров. Для исследований выбран Кузнецкий рям, расположенный в Убинском районе Новосибирской области (рис. 1). Возгорания на этом болоте случались неоднократно. Это в значительной степени отразилось на растительном покрове болота [17]. Древесный ярус состоит из сосны и березы высотой 15–20 м, на деревьях видна обгоревшая и обуглившаяся кора до высоты 1,5–2 м. Кустарничковый ярус представлен преимущественно багульником, также встречаются кассандра, брусника, клюква. На одном из участков рьяма верхний покров мертвый и представлен оголенным торфом. Другой участок имеет разреженный мозаичный покров из сфагновых мхов

(преимущественно *Sphagnum angustifolium* и *S. fuscum*) с небольшим участием зеленых мхов (*Polytrichum strictum*, *Pleurozium schreberi*) и отличается обильным разрастанием березового подроста с примесью сосны высотой от 2 до 5 м и большим числом поваленных деревьев. В Кузнецком ряме пробы отобраны в местообитаниях с полностью выгоревшим верхним покровом болота (мертвопокровные биотопы) и на участке с более-менее восстановившимся разреженным покровом из сфагновых мхов (сфагновые биотопы) (август 2014 г.). Точные даты пожаров на этом болоте нам неизвестны. Однако, по мнению Н.П. Косых, исследовавшей различные рямы в лесостепи Западной Сибири [17, 18], последний пожар в изучаемых участках Кузнецкого ряма произошел не менее 12–15 лет назад. Сфагновые биотопы Кузнецкого ряма наиболее сходны с ненарушенными болотными местообитаниями, поэтому для сравнения с последними выборка проб в сфагновых биотопах взята с учетом элементов болотного микрорельефа: на повышениях (кочках, 5 проб), в межкочечных понижениях (4 пробы) и средних по высоте поверхностях (5 проб).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Характеристика объектов исследования
[Characteristics of the study objects]

Ландшафтно-географическая зона, подзона [Landscape-geographical zone, subzone]	Координаты [Coordinates]	Болото [Bog]	Особенности биотопов [Features of habitats]	Количество проб [Number of samples]	Время, прошедшее после пожара [Time after fire]
Лесостепь [Forest-steppe]	55°10'N, 81°19'E	Кузнецкий рям [Kuznetskii ryam]	Мертвопокровные [Dead bog surface]	10	Не менее 12–15 лет [At least 12-15 years]
			Сфагновые [Sphagnum]	14	
Южная тайга [Southern taiga]	56°52'N, 84°39'E	Темное, рям [Temnoye bog]	Мертвопокровные [Dead bog surface]	2	Не менее 10–15 лет [At least 10-15 years]
			Зеленомошные [Green moss]	3	
	56°51'N, 83°17'E	Иксинское, рям [Iksinskoye bog]	Мертвопокровные [Dead bog surface]	1	16 лет [16 years]
			Зеленомошные [Green moss]	2	

В южнотаежной подзоне Западной Сибири заболоченность территории составляет около 32% [19]. Среди болот преобладают рямы и грядово-мо-

чажинные комплексы, также широко распространены и низинные болота, представленные разнообразными растительными ассоциациями. Объектами для исследования выбраны рямы на болоте Темном и Иксинском, находящиеся в Томском и Шегарском районах Томской области соответственно (см. рис. 1, табл. 1).

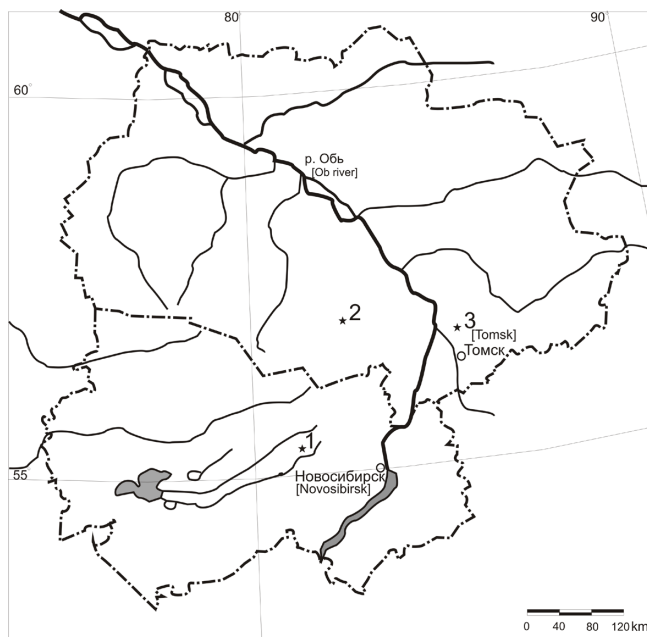


Рис. 1. Карта расположения района и объекта исследований:

1 – Кузнецкий рям; 2 – Иксинское болото; 3 – болото Темное.

Пунктиром отмечены границы Новосибирской и Томской областей

[Fig. 1. Map of the study area: 1 - Kuznetskii ryam, 2 - Iksinskoye bog, 3 - Temnoye bog. Borders of Tomsk and Novosibirsk regions marked by a dotted line]

Изучаемые участки данных болот осушены. Затем подверглись воздействию пожаров. На Иксинском болоте произошло значительное выгорание осушенного участка верхового болота в 1998 г. [23]. Возможно, затем случались повторные возгорания. Визуально гари на двух данных болотах очень похожи. Дата последнего пожара на болоте Темном нам неизвестна. Однако в целом, по нашей оценке, после пожаров на исследуемых болотах прошло не менее 10–15 лет. Древесный ярус на горевших участках обоих болот разреженный, представлен березой и сосной высотой 8–10 м с большим количеством сухостоя. Развита подрост из березы и сосны (высота 2–5 м). Кустарничковый ярус состоит преимущественно из багульника и кассандры, также встречаются голубика, клюква. Моховой покров развит мозаично, его проективное покрытие составляет около 60%. Помимо сфагновых, велико отно-

сительное обилие и зеленых мхов (в основном *Polytrichum strictum*). Пробы субстрата для анализа сообществ раковинных амёб отобраны на участках с отмершим покровом болота (мертвопокровные биотопы), представленных голым торфом, и сухими зелеными мхами (зеленомошные биотопы), в августе 2014 г. В ходе анализа полученных данных пробы, отобранные на двух болотах южной тайги, объединены в одну группу и рассматривались вместе в соответствии с различиями по типу субстрата.

В целом проанализировано 32 пробы с поверхности болот. Все исследованные биотопы являются нарушенными в результате воздействия пожара в той или иной степени. Структуру сообществ раковинных амёб на выгоревших болотах сравнивали с таковой в различных ненарушенных местообитаниях по данным других работ.

Для анализа сообществ раковинных амёб пробы сырого субстрата массой 4–5 г промывались через сито с размером ячейки 0,355 мм для отделения крупных растительных остатков. Полученные водные суспензии отстаивали для удаления излишней жидкости, затем объем суспензии доводился до 10 мл [24]. Каплю данного раствора просматривали под бинокулярным световым микроскопом при 200–400-кратном увеличении. В каждой пробе насчитывали не менее 300 экземпляров раковинок амёб. Обнаруженные виды идентифицировали при помощи определителей [25, 26]. В каждой пробе вычислялось относительное обилие видов, а также плотность населения сообществ раковинных амёб в 1 г в. с. в. (воздушно-сухого вещества субстрата).

Для сравнения видового богатства в выборках с разным количеством проб использован метод разрежения по Колеману (Cole rarefaction) [27, 28]. Сравнительный анализ видовой структуры сообществ раковинных амёб в разных пробах проведен при помощи индекса сходства Раупа–Крика и индекса Мориситы. Данные индексы используются для попарного сравнения проб, первый из них учитывает только наличие или отсутствие видов в сообществе, а второй учитывает также доли относительного обилия видов. Значимость отличий между разными выборками оценивалась при помощи непараметрического теста Манна–Уитни.

Массовую влажность субстрата определяли методом взвешивания проб в сыром виде и после высушивания до воздушно-сухого состояния. На основании разницы в массе вычисляли долю содержания влаги.

Статистическая обработка полученных данных проведена при помощи программных приложений: EstimateS 9.0.0 [29]; StatSoft STATISTICA 10.0 for Windows; PAST 1.87b.

Результаты исследования и обсуждение

Видовой состав сообществ раковинных амёб выгоревших участков верховых болот. Всего в исследованных болотных местообитаниях обнаружено 50 видов, вариететов и форм раковинных амёб (табл. 2).

В целом видовая структура сообществ раковинных амёб на выгоревших участках болот имеет много общего с таковой в естественных ненарушенных болотных местообитаниях на территории Западной Сибири. Доминируют такие же виды из родов *Assulina*, *Trinema*, характерные для кочек верховых болот [30–33]. Доминанты и основная часть видов, составляющих исследованные сообщества, являются ксерофилами, типичны для биотопов с наименьшей увлажненностью на верховых болотах (*Assulina*, *Bullinularia*, *Corythion*, *Trigonopyxis*, *Nebela tincta*). Они отражают ксероморфные условия среды. Одной из основных причин снижения влажности среды на поверхности выгоревших болот является нарушение сплошного покрова из сфагновых мхов. Разрастающиеся зеленые мхи и мертвопокровные участки отличаются более низкой влажностью по сравнению со сфагновыми мхами как среды для существования почвенных организмов.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Распределение видов раковинных амёб по относительному обилию (%) в болотных местообитаниях после воздействия пожара
[Distribution of testate amoebae species according to relative abundance (%) in bog habitats affected by wild fire]

Виды [Species]	Рямы в южной тайге [Bogs in the southern taiga]		Рям в лесостепи [Bog in the forest-steppe]	
	Биотопы [Habitats]			
	Зелено-мошные [Green moss]	Мертво-покровные [Dead bog surface]	Мертво-покровные [Dead bog surface]	Сфагновые [Sphagnum]
<i>Arcella arenaria</i> Greeff	0,04	0,30	0,41	0,02
<i>A. discoides</i> Ehrenberg			0,05	
<i>A. discoides</i> v. <i>difficilis</i> Deflandre	0,38	0,30	0,24	
<i>A. vulgaris</i> Ehrenberg		0,15		
<i>A. vulgaris</i> v. <i>polymorpha</i> Deflandre	0,04	0,15		0,10
<i>Archerella flavum</i> (Archer) Loeblich et Tappan	0,25			
<i>Assulina muscorum</i> Greef	14,25	5,94	1,42	17,72
<i>A. seminulum</i> (Ehrenberg) Leidy				0,23
<i>Bullinularia indica</i> v. <i>minor</i> (Penard) Deflandre			0,16	0,21
<i>Centropyxis aculeata</i> (Ehrenberg) Stein	0,08			
<i>C. aerophila</i> Deflandre	0,38	4,89	0,87	0,35
<i>C. constricta</i> v. <i>minima</i> Decloitre	0,46	1,43	0,22	0,02
<i>C. orbicularis</i> Deflandre				1,15
<i>C. sylvatica</i> (Deflandre) Bonnet et Thomas	2,35	1,58	0,08	0,81
<i>Corythion delamarei</i> Bonnet, Thomas	1,01	1,13	2,67	1,29
<i>C. dubium</i> Taranek	16,56	13,47	24,69	4,46
<i>C. dubium</i> v. <i>orbicularis</i> Penard	2,10	2,86	2,75	0,50
<i>C. pulchellum</i> Penard			0,24	0,02
<i>Cryptodiffugia voighti</i> Schmidt	0,13			
<i>Cyclopyxis eurystoma</i> Deflandre	5,38	9,56	4,76	2,36
<i>C. eurystoma</i> v. <i>parvula</i> Bonnet et Thomas	0,97	8,80	1,25	

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Виды [Species]	Рямы в южной тайге [Bogs in the southern taiga]		Рям в лесостепи [Bog in the forest-steppe]	
	Биотопы [Habitats]			
	Зелено-мошные [Green moss]	Мертво-покровные [Dead bog surface]	Мертво-покровные [Dead bog surface]	Сфагновые [Sphagnum]
<i>C. kahli</i> Deflandre		0,38		0,06
<i>Diffugiella minuta</i> Playfair			0,27	0,19
<i>Euglypha anodonta</i> Bonnet		0,08		
<i>E. anodonta</i> v. <i>magna</i> Schoenborn	0,97	0,23	0,90	
<i>E. compressa</i> Carter		0,15		
<i>E. compressa</i> f. <i>Glabra</i> Wailes		0,60	0,14	
<i>E. rotunda</i> Wailes	4,08	3,16	1,03	8,69
<i>E. strigosa</i> (Ehrenberg) Leidy	1,01	0,15		0,04
<i>E. strigosa</i> f. <i>glabra</i> Wailes	0,46	0,23		0,06
<i>Heleopera petricola</i> v. <i>amethystea</i> Penard	0,08			
<i>Hyalosphenia papilio</i> Leidy	0,38			
<i>Nebela militaris</i> Penard	1,43	3,69	0,19	0,63
<i>N. tincta</i> (Leidy) Awerintzew	0,25	0,60		0,10
<i>Phryganella acropodia</i> v. <i>australica</i> Playfair	0,34			3,92
<i>Placocista lens</i> Penard				0,02
<i>P. spinosa</i> (Carter) Leidy		0,08		
<i>Plagiopyxis declivis</i> Thomas	1,09			
<i>P. penardi</i> Thomas	0,04	0,90		
<i>Schoenbornia humicola</i> (Schoenborn) Decloitre	3,03	1,96	4,19	0,04
<i>S. smithi</i> Beyens et Chardez	0,50	0,30	0,30	0,06
<i>Tracheleuglypha dentata</i> Deflandre	0,04			0,08
<i>Trigonopyxis arcula</i> (Leidy) Penard	0,67	0,90	12,63	0,60
<i>T. arcula</i> v. <i>major</i> Chardez	0,08	0,08	1,39	0,04
<i>T. minuta</i> Schoenborn et Peschke	2,14	2,33	32,09	1,15
<i>Trinema complanatum</i> Penard	2,65	3,39	0,65	1,63
<i>T. enchelys</i> (Ehrenberg) Leidy		0,83	0,49	3,40
<i>T. lineare</i> Penard	36,07	28,67	5,91	49,69
<i>T. lineare</i> v. <i>truncatum</i> Chardez	0,17			0,33
<i>T. penardi</i> Thomas et Chardez	0,13	0,75		

Примечание. Доли относительного обилия более 10% выделены жирным шрифтом; пустые ячейки означают отсутствие вида.

[Notes. Values more than 10% are in bold; blank cells indicate the absence of species].

Особенности видового состава раковинных амёб в разных болотных биотопах после воздействия пожара. Прослеживается приуроченность отдельных видов раковинных амёб к разным типам субстрата на выгоревших болотных участках: мертвopoкpовных, зеленомошных, сфагновых. Данные типы субстрата отражают, с одной стороны, разные стадии восстановления верхнего покрыва болота после пожара и перечислены в последовательности от наиболее до наименее нарушенных, с другой стороны, отличаются по гидротермическому режиму, перечислены соответственно от наиболее сухих до наиболее влажных.

Часть обнаруженных видов раковинных амёб достигает наибольшего относительного обилия в сфагновых биотопах. К ним относятся *Assulina muscorum*, *Bullinularia indica* v. *minor*, *Euglypha rotunda*, *Phryganella acropodia* v. *australica*, *Tracheleuglypha dentata*, *Trinema enchelys*, *T. lineare*, *T. lineare* v. *truncatum*. В зеленомошных биотопах относительное обилие большинства этих видов несколько ниже, в мертвопокровных биотопах достигает наименьших значений. Некоторые виды обнаружены исключительно в сфагновых биотопах (*Assulina seminulum*, *Centropyxis orbicularis*, *Placocista lens*). Перечисленные виды раковинных амёб (за исключением *Tracheleuglypha dentata*, *Trinema enchelys* и *Centropyxis orbicularis*) часто встречаются в ненарушенных олиготрофных сфагновых болотах Западной Сибири по данным предыдущих исследований [30, 33]. Данные виды являются типичными бриобионтами и тяготеют к местообитаниям с моховым покровом [34].

Для ряда видов отмечено наибольшее относительное обилие в мертвопокровных биотопах, а в сфагновых биотопах, в большинстве случаев, наименьшее. К ним относятся *Arcella arenaria*, *Centropyxis aerophila*, *C. constricta* v. *minima*, *Diffugiella minuta*, *Nebela militaris*, *N. tinctoria*, *Plagiopyxis penardi*, *Schoenbornia humicola*, *Trinema penardi*, виды из родов *Corythion*, *Cyclopyxis* и *Trigonopyxis*. Перечисленные виды отличаются низкой встречаемостью и небольшим относительным обилием в естественных ненарушенных сфагновых местообитаниях олиготрофных болот на территории Западной Сибири [30, 33]. Среди них виды *Centropyxis aerophila*, *Cyclopyxis kahli*, *C. eurystoma*, *C. eurystoma* v. *parvula*, *Plagiopyxis penardi*, *Schoenbornia humicola* более типичны для минеральных почв [25, 34–36]. Обнаружение почвенных видов корненожек связано с тем, что мертвопокровные биотопы наиболее близки по своим свойствам к минеральным почвам: высокой степени сухости субстрата и повышенному содержанию минеральных элементов. Присутствие почвенных видов *Centropyxis aerophila*, *Plagiopyxis callida*, *P. declivis*, *P. penardi* наблюдалось на выгоревших участках болот и в другом исследовании [21].

В выгоревших болотных местообитаниях обнаружено единичное присутствие видов, характерных, согласно [37–39], для мезоэвтрофных болот. Это виды: *Cyclopyxis kahli*, *Heleopera petricola* v. *amethystea*, *Tracheleuglypha dentata*, *Trinema penardi*, отличающиеся требовательностью к повышенному содержанию минеральных элементов в среде обитания. Вид *Cyclopyxis kahli* часто встречается как в минеральных почвах, так и в мезоэвтрофных болотах [34]. Очевидно, наличие перечисленных видов отражает обогащенность субстрата зольными элементами как следствие пожара.

Таким образом, видовой состав сообществ раковинных амёб в местообитаниях, подвергшихся воздействию пожара, во многом зависит от типа субстрата и может быть различным на разных этапах постпирогенной сукцессии.

Доминирующие виды раковинных амёб. В южнотаежных болотах в зеленомошных биотопах доминантами сообществ раковинных амёб являются виды-бриобионты *Trinema lineare*, *Corythion dubium* и *Assulina muscorum*,

а в мертвопокровных биотопах – *T. lineare* и *C. dubium* (см. табл. 2), причем доли их относительного обилия несколько уменьшаются. В сфагновых биотопах Кузнецкого рьяма доминируют виды *Trinema lineare* и *Assulina muscorum*, а в мертвопокровных – *Trigonopyxis minuta* и *Corythion dubium*.

По данным исследований ненарушенных олиготрофных болот Западной Сибири [30] доли относительного обилия видов *Trigonopyxis minuta* и *Corythion dubium* в сфагновых мхах низки и не превышают 5–10%. Однако в мертвопокровных биотопах на выгоревших болотах эти виды доминируют в сообществах раковинных амёб. Для видов рода *Corythion* выявлено гораздо большее относительное обилие в болотных местообитаниях с зеленомошным субстратом в отличие от сфагновых биотопов [33]. Виды из рода *Trigonopyxis* часто встречаются в почвах с грубым растительным материалом и мхах [25, 35]. Таким образом, повышенное относительное обилие данных двух видов является маркером нарушения сфагнового покрова болота. Кроме того, мы предполагаем, что нетипичное для сфагновых местообитаний доминирование видов *Trigonopyxis minuta* и *Corythion dubium* обусловлено крайне сильной сухостью субстрата в мертвопокровных биотопах Кузнецкого рьяма. Среднее значение показателя массовой влажности для этих биотопов составило 38%, тогда как в сфагновых биотопах оно варьирует в пределах 70–90%. Мы считаем, что основной причиной различий по влажности является моховой покров в сфагновых биотопах. Он удерживает влагу за счет плотных подушек моховой дернины. Наше предположение полностью согласуется с различиями в оптимальных значениях глубины уровня болотных вод, рассчитанных методом взвешенного среднего, для отдельных видов раковинных амёб. Для видов *Trigonopyxis minuta* и *Corythion dubium* значения видовых оптимумов по уровню болотных вод выше (соответственно 26,99 и 26,68 см), чем для видов *Trinema lineare* и *Assulina muscorum* (соответственно 26,45 и 24,88 см) [30]. Это означает, что первые два вида корне-ножек предпочитают более дренированные условия среды, чем последние, хотя все четыре перечисленных вида относятся к группе ксерофилов.

Результаты нашего исследования хорошо согласуются с данными других работ. Так, в работе иностранных авторов [10], исследовавших верещатники в Великобритании, показано увеличение долей относительного обилия видов из родов *Trigonopyxis*, *Corythion*, *Trinema* на выгоревших участках по сравнению с негоревшими. Такая же тенденция выявлена и в исследовании Е.А. Малышевой с соавт. [21] на болотах в Мордовии, подвергшихся воздействию пожаров. О. Гарниш [40] указывает, что возрастание доли относительного обилия видов *Trigonopyxis arcuata*, *Hyalosphenia subflava*, *Phryganella* sp. характерно для мертвопокровных торфяников, рост и развитие которых остановились либо в результате сильного обсыхания, либо, возможно, значительной эвтрофикации. Вид *Hyalosphenia subflava* являлся одним из доминантов на горевших участках верещатников в Великобритании [10]. В целом данный вид часто встречается на болотах разных регионов

Северного полушария [32, 41, 42], однако он не обнаружен на олиготрофных болотах Западной Сибири [30, 33, 37]. Возможно, это обусловлено существующими географическими ограничениями в распространении этого вида. Нами обнаружен один вид из рода *Phryganella* в сфагновых и зеленомошных биотопах (см. табл. 2): немногочислен и отнесен к группе бриобионтов. Таким образом, для нашего района исследований наиболее надежными индикаторами выгоревших мертвопокровных болот являются виды *Trigonopuxis minuta* и *T. arcula*.

Сравнительный анализ сообществ раковинных амёб Кузнецкого рьяма в различных местообитаниях, подвергшихся выгоранию. Наличие проб, отобранных в Кузнецком рьяме в мертвопокровных и сфагновых биотопах, позволило нам провести сравнительный анализ сообществ раковинных амёб в пределах одного болота на участках, в разной степени подвергшихся воздействию пожара.

Список видов раковинных амёб, обнаруженных в мертвопокровных и сфагновых биотопах, имеет много общего. Это подтверждается высокими значениями индекса сходства Раупа–Крика (табл. 3). Однако значения индекса сходства Мориситы низки. Это свидетельствует о различиях в соотношениях видов раковинных амёб в двух выборках биотопов. Таким образом, в структуре сообществ раковинных амёб отражается та же тенденция, что установлена для почвенной мезофауны в лесных биотопах, подвергшихся воздействию пожаров [3]: меняется не столько видовой состав сообществ почвенных организмов, сколько соотношения видов внутри сообщества.

В Кузнецком рьяме в выборке сфагновых биотопов на всех элементах болотного микрорельефа доминируют ксерофильные виды раковинных амёб, характерные для кочек верховых болот (см. табл. 3). Хотя обычно на различных элементах микрорельефа наблюдается доминирование разных видов корненожек [31, 32, 37]. Однообразие видовой структуры сообществ раковинных амёб, даже на уровне доминантных видов, отражает повышенную степень ксероморфизации условий среды, характерную для Кузнецкого рьяма в целом. На первый взгляд, участок со сфагновыми биотопами, имеющий разреженный моховой покров, производит впечатление более-менее восстановленного после воздействия пожара. Однако выявленные особенности видового состава раковинных амёб отражают условия чрезмерной дренированности этого участка. Мы считаем, что основной причиной является обильное разрастание густого подроста из березы и сосны на болоте на данном этапе послепожарной сукцессии. Корневая система поросли молодых деревьев вытягивает значительное количество воды из болотной почвы. Итак, общая ксероморфизация среды на Кузнецком рьяме является одним из следствий пожара.

Наибольшее среднее число видов в пробе наблюдается в межкочечных понижениях, а наименьшее – в кочках (см. табл. 3), выявленные различия незначимы (тест Манна–Уиттн, $p < 0,05$).

Т а б л и ц а 3 [Table 3]

**Особенности сообществ раковинных амёб в мертвопокровных
и сфагновых биотопах Кузнецкого рьяма после воздействия пожара**
[Features of testate amoebae assemblages in dead bog surface and
sphagnum habitats of the Kuznetskii ryam after wild fire]

Показатели [Parameters]	Мертвопокров- ные биотопы [Dead bog surface habitats]	Сфагновые биотопы [Sphagnum habitats]		
		Кочки [Hummocks]	Средние поверхности [Middle level of bog surface]	Межкочечные понижения [Decreases between hummocks]
Индекс сходства Раупа–Крика* [Raup-Crick similarity index*]	—	$0,87 \pm 0,14$	$0,72 \pm 0,24$	$0,53 \pm 0,29$
Индекс сходства Мориситы* [Morisita similarity index*]	—	$0,13 \pm 0,10$	$0,21 \pm 0,13$	$0,17 \pm 0,12$
Число видов в 1 пробе [Number of species per sample]	13 ± 4	8 ± 2	14 ± 3	16 ± 2
Индекс Шеннона [Shannon index]	$1,64 \pm 0,51$	$1,11 \pm 0,37$	$1,55 \pm 0,31$	$1,49 \pm 0,29$
Выровненность структуры [Equitability]	$0,63 \pm 0,13$	$0,53 \pm 0,12$	$0,60 \pm 0,11$	$0,54 \pm 0,12$
Доминанты [Dominant species]	<i>Corythion dubium, Trigonopyxis minuta</i>	<i>Trinema lineare, Assulina muscorum, Euglypha rotunda, Phryganella acropodia v. australica</i>	<i>Trinema lineare, Assulina muscorum, Euglypha rotunda</i>	<i>Trinema lineare, Assulina muscorum</i>
Плотность населения, тыс. экз./г в.с.в. [Population density, thousand. ind. / g of air dry substrate]	100 ± 45	70 ± 50	180 ± 125	240 ± 70

* Показаны значения индексов сходства, полученные при попарном сравнении проб из выборки сфагновых биотопов с пробами из выборки мертвопокровных биотопов; данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения.

[* Shows similarity index values obtained in pairwise comparison of samples from the sphagnum habitats series and samples from the dead bog surface habitat series. The data are present as arithmetic mean and standard deviation].

Скорее всего, это связано с повышенной влажностью межкочечных понижений. В условиях общей сухости данного болота они становятся наиболее благоприятными биотопами для обитания большего числа видов раковинных амёб.

Проведено сравнение видового богатства сообществ раковинных амёб в выборках мертвopoкpовных и сфагновых биотопов Кузнецкого рьяма. Так как размер этих выборок неодинаков, то для стандартизации их объема использован метод разрежения по Колеману (Cole rarefaction). Расчет ожидаемого числа видов для выборки объемом 10 проб показал (рис. 2), что видовое богатство мертвopoкpовных биотопов ниже, чем сфагновых. Об обеднении видового состава сообществ раковинных амёб на мертвopoкpовном участке рьяма также свидетельствует максимальное значение индекса сходства Раупа–Крика ($0,94 \pm 0,11$, получено как среднее значение индекса в процессе попарного сравнения видового состава сообществ раковинных амёб в мертвopoкpовных биотопах между собой), тогда как для выборки сфагновых биотопов оно оказалось меньше ($0,83 \pm 0,16$), что указывает на большее видовое богатство последних. По нашему мнению, наблюдаемая тенденция увеличения видового богатства раковинных амёб в сфагновых биотопах, в отличие от мертвopoкpовных, отражает более полное восстановление связей между отдельными компонентами экосистемы, нарушенных воздействием пожара.

Видовая структура сообществ раковинных амёб в мертвopoкpовных биотопах Кузнецкого рьяма отличается от таковой в сфагновых. Сообщества раковинных амёб мертвopoкpовных биотопов характеризуются более высокими значениями показателей индекса видового разнообразия Шеннона и выровненности структуры (см. табл. 3). Однако проверка при помощи теста Манна–Уитни показала отсутствие значимых отличий ($p < 0,05$). По нашему мнению, более высокие значения показателей в мертвopoкpовных биотопах обусловлены, прежде всего, тем, что в них доминантный комплекс раковинных амёб включает несколько видов-содоминантов в каждой отдельно взятой пробе, а в сфагновых биотопах – доминант преимущественно один. Содоминирование разных видов раковинных амёб, выявленное для мертвopoкpовных биотопов, возможно, отражает неустойчивость структуры сообщества раковинных амёб, формирующегося на промежуточной стадии постпирогенной сукцессии, либо является следствием переменности условий среды, которые оказываются благоприятными для оптимального развития и соответственно наибольшего относительного обилия нескольких разных видов корненожек.

По видовому составу сообщества раковинных амёб в мертвopoкpовных биотопах на Кузнецком рьяме наиболее сходны с сообществами кочек (значения индекса Раупа–Крика, см. табл. 3). А по соотношению видов (индекс Мориситы, см. табл. 3) сходство практически отсутствует, так как значения этого индекса очень низки. Эти результаты дополнительно подчеркивают существование различий в видовой структуре сообществ раковинных амёб в мертвopoкpовных и сфагновых биотопах Кузнецкого рьяма. Данные различия преимущественно связаны с соотношениями отдельных видов в сообществе раковинных амёб.

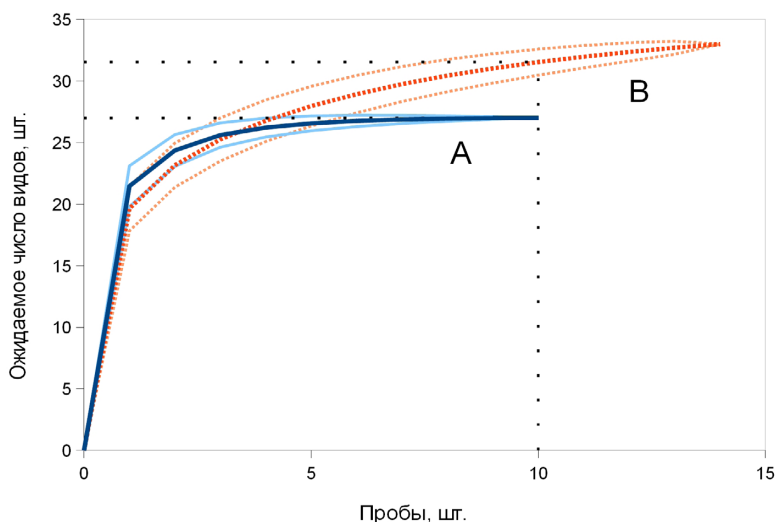


Рис. 2. Расчет видового богатства сообществ раковинных амёб в разных выборках проб на Кузнецком ряме при помощи метода разрежения по Колеману (Cole rarefaction): *A* – мертвopoкpовные биотопы, *B* – сфагновые биотопы. Бледными линиями того же цвета отмечены стандартные отклонения полученных значений [Fig. 2. Calculation of species richness of testate amoebae assemblages in different series of samples at the Kuznetskii ryam using the method of Coleman rarefaction: *A* - Dead bog surface habitats, *B* - Sphagnum habitats. Light lines of the same color indicate the standard deviation of the values obtained. On the X axis - Samples; on the Y axes - Expected species richness]

Плотность населения раковинных амёб в биотопах Кузнецкого рьяма сильно варьировала (см. табл. 3). Среднее значение этого показателя оказалось ниже в мертвopoкpовных биотопах по сравнению со сфагновыми. Однако проверка при помощи теста Манна–Уиттни показала отсутствие значимых отличий ($p < 0,05$). Причем в выборке сфагновых биотопов плотность населения наименьшая на кочках, а в межкочечных понижениях – наибольшая (см. табл. 3). Приведенные значения сопоставимы со средними значениями плотности населения сообществ раковинных амёб в ненарушенных местообитаниях на олиготрофных болотах Западной Сибири по данным других исследований [33]. По-видимому, за время, прошедшее после пожара (не менее 12–15 лет), плотность населения раковинных амёб в мертвopoкpовных и сфагновых биотопах Кузнецкого рьяма могла восстановиться до нормальных значений, характерных для болотных местообитаний со сфагновым покровом.

Заключение

Исследование сообществ раковинных амёб на выгоревших участках верховых болот показало, что в болотных местообитаниях после воздействия

пожара происходит обеднение видового состава сообществ. Наблюдается единичное появление видов раковинных амёб, характерных для мезозвтрофных болот и для минеральных почв. Изменяется не только видовой состав сообществ раковинных амёб, но и соотношения между отдельными видами по относительному обилию. Сообщества горевших биотопов отличаются более высокими значениями показателей индекса видового разнообразия Шеннона и выровненности структуры. Отмечено возрастание относительного обилия отдельных видов из родов *Trigonopyxis*, *Corythion*, *Trinema* на мертвопокровных участках выгоревших торфяников.

Литература

1. Gongalsky K.B., Persson T. Recovery of soil macrofauna after wildfires in boreal forests // Soil biology and biochemistry. 2013. Vol. 57. P. 182–191.
2. Ахметьева Н.П., Белова С.Э., Джамалов Р.Г., Куличевская И.С., Лапина Е.Е., Михайлова А.В. Естественное восстановление болот после пожаров // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 4. С. 343–354.
3. Гонгальский К.Б. Лесные пожары и почвенная фауна. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. 169 с.
4. Андриевский В.С., Якутин М.В. Пирогенная трансформация компонентов деструкционного блока северотаежных почв Западной Сибири на примере почвенных панцирных клещей (Oribatida) и микроорганизмов // Евразийский энтомологический журнал. 2015. Т. 14, № 5. С. 468–474.
5. Данилова О.В., Белова С.Э., Куличевская И.С., Дедыш С.Н. Снижение активности и изменение структуры метанотрофного сообщества верхового болота в результате пожара // Микробиология. 2015. Т. 84, № 5. С. 546–552.
6. Zaitsev A.S., Gongalsky K.B., Malmstroem A., Persson T., Bengtsson J. Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review // Applied soil ecology. 2016. № 98. P. 261–271.
7. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Oecologia. 2005. № 143. P. 1–10.
8. Количественные методы в почвенной зоологии / отв. ред. М.С. Гиляров, Б.Р. Стриганова. М. : Наука, 1987. 288 с.
9. Бобров А.А. К понятию микроареала у почвенных раковинных амёб (Protozoa: Testacea) // Известия РАН. Серия биологическая. 2003. № 1. С. 101–109.
10. Turner T.E., Swindles G.T. Ecology of testate amoebae in moorland with a complex fire history: implications for ecosystem monitoring and sustainable land management // Protist. 2012. Vol. 163. P. 844–855.
11. Wanner M. Immediate effects of prescribed burning on terrestrial testate amoebae in a continental Calluna heathland // Ecological Engineering. 2012. Vol. 42. P. 101–106.
12. Mitchell E.A.D., Charman D.J., Warner B.G. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future // Biodivers Conserv. 2008. № 17. P. 2115–2137.
13. Вомперский С.Э., Глухова Т.В., Смагина М.В., Ковалев А.Г. Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах // Лесоведение. 2007. № 6. С. 35–44.
14. Копотева Т.А., Кунцова В.А. Влияние пожаров на функционирование фитоценозов торфяных болот Среднеамериканской низменности // Экология. 2016. № 1. С. 14–21.

15. KucEROVA A., Rectoris L., Stechova T., Bastl M. Disturbances on a wooded raised bog – how windthrow, bark beetle and fire affect vegetation and soil water quality? // *Folia Geobot.* 2008. № 43. P. 49–67.
16. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // *Экология.* 1994. № 5. С. 27–34.
17. Наумов А.В., Косых Н.П., Паришина Е.К., Артымук С.Ю. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // *Сибирский экологический журнал.* 2009. № 2. С. 251–259.
18. Валуцкий В.И. Растительность лесостепных рямов в Восточной Барабе // *Turczaninowia.* 2011. № 14(1). С. 109–119.
19. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс [и др.]; отв. ред. В.Б. Куваев. Тула : Гриф и К, 2001. 584 с.
20. Мохов И.И., Чернокульский А.В. Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменениях климата // *География и природные ресурсы.* 2010. № 2. С. 120–126.
21. Малышева Е.А., Цыганов А.Н., Бабешко К.В., Новенко Е.Ю., Мазей Ю.А. Видовой состав и структура сообществ сфагнобионтных раковинных амёб в болотных экосистемах Мордовского государственного природного заповедника // *Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича.* 2014. Вып. 12. С. 330–336.
22. Wanner M., Xylander W.E.R. Transient fires useful for habitat-management do not affect soil microfauna (Testate amoebae) – a study on an active military training area in eastern Germany // *Ecol. Engineer.* 2003. Vol. 20. P. 113–119.
23. Базанов В.А., Егоров Б.А., Лъготин В.А., Скугарев А.А. Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья рек Икса-Шегарка) // *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития* / под ред. М.В. Кабанова. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2002. С. 190–196.
24. Мазей Ю.А., Блинохватова Ю.В., Ембулаева Е.А. Особенности микропространственного распределения почвообитающих раковинных амёб в лесах Среднего Поволжья // *Аридные экосистемы.* 2011. Т. 17, № 46. С. 37–46.
25. Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А., Алексеев Д.А. Практическое руководство по идентификации почвенных тестаций. М. : Изд-во Московского университета, 1985. 84 с.
26. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. Пресноводные раковинные амёбы. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2006. 300 с.
27. Magurran A.E. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing, 2004. 256 p.
28. Cazzolla Gatti R. Biodiversita, in teoria e in pratica. Libreria Universitaria Edizioni, 2014. 358 p.
29. Colwell R. K. Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. 2013. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
30. Курьина И.В. Экология раковинных амёб олиготрофных болот южной тайги Западной Сибири как индикаторов водного режима // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского.* 2011. № 25. С. 368–375.
31. Бобров А.А., Чармен Д., Уорнер Б. Экология раковинных амёб олиготрофных болот (особенности экологии политипических и полиморфных видов) // *Известия РАН. Серия биологическая.* 2002. № 6. С. 738–751.
32. Heal O.W. The distribution of testate amoeba (Rhizopoda: Testacea) in some fens and bogs in Northern England // *J. Linn. Soc. Zool.* 1961. Vol. 44. P. 369–382.
33. Курьина И.В. Раковинные амёбы олиготрофных болот Западной Сибири : дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2012. 204 с.

34. Chardez D. Ecologie generale des Thecamoebiens // Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherche de Gembloux. 1965. Vol. 33. P. 307–341.
35. Корганова Г.А. Структура сообществ раковинных амёб (Protozoa, Testacea) в разных средах обитания и адаптивные особенности почвенных форм // Известия РАН. Серия биологическая. 1991. № 3. С. 410–420.
36. Булатова У.А. Фауна и экология раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) сосновых лесов Томской и Кемеровской областей // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 2 (10). С. 58–67.
37. Курьина И.В., Преис Ю.И., Бобров А.А. Раковинные амёбы болотных местообитаний средней тайги Западной Сибири // Известия РАН. Серия биологическая. 2010. № 4. С. 423–429.
38. Opravilova V., Hajek M. The variation of testacean assemblages (Rhizopoda) along the complete base-richness gradient in fens: a case study from the Western Carpathians // Acta protozoologica. 2006. Vol. 45. P. 191–204.
39. Lamentowicz L., Gabka M., Rusinska A., Sobczynski T., Owsianny P.M., Lamentowicz M. Testate amoeba (Arcellinida, Euglyphida) ecology along a poor-rich gradient in fens of Western Poland // Internat. Rev. Hydrobiol. 2011. Vol. 96, № 4. P. 356–380.
40. Harnisch O. Rhizopodenanalyse der Moore // Biologisches Zentralblatt. 1948. № 67. S. 551–562.
41. Booth R.K. Testate amoebae as paleoindicators of surface-moisture changes on Michigan peatlands: modern ecology and hydrological calibration // Journal of Paleolimnology. 2002. № 28. P. 329–348.
42. Woodland W.A., Charman D.J., Sims P.C. Quantitative estimates of water tables and soil moisture in Holocene peatlands from testate amoebae // The Holocene. 1998. № 8. P. 261–273.

Поступила в редакцию 17.05.2016 г.; повторно 04.08.2016 г.;
принята 17.08.2016 г.; опубликована 21.09.2016 г.

Авторский коллектив:

Курьина Ирина Владимировна – канд. биол. наук, н.с. лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).

E-mail: irina.kuryina@yandex.ru

Климова Нина Владимировна – м.н.с. лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).

E-mail: klimnin@sibmail.com

Kurina IV, Klimova NV. Testate amoebae assemblages (Rhizopoda, Testaceafilosea, Testacealobosea) in bog habitats after effects of wild fires (south of Western Siberia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2016;3(35):161-181. doi: 10.17223/19988591/35/10 In Russian, English summary

Irina V. Kurina, Nina V. Klimova

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

**Testate amoebae assemblages (Rhizopoda, Testaceafilosea, Testacealobosea)
in bog habitats after effects of wild fires (south of Western Siberia)**

Testate amoebae are numerous and crucial components of soil fauna. They are involved in food webs and play an important role in the biological cycle of substances.

Testate amoebae are sensitive bioindicators of environmental change, even a brief and short one. The aim of our research was to analyze the features of the species structure of testate amoebae assemblages in bog habitats after severe wild fire exposure.

The study objects were some burnt areas of pine-shrub-sphagnum bogs in the southern taiga subzone (Temnoye and Iksinskoye bogs) and the forest-steppe zone (Kuznetskii ryam) of Western Siberia (Figure 1, Table 1). At least 10 years have passed since the fire in the studied bogs, but the upper bog vegetation cover has not yet recovered to the previous condition. To analyze testate amoebae assemblages, we collected 32 samples of substrate from the bogs' surface. We washed samples of raw substrate weighing 4-5 g through the sieve (cell size of 0,355 mm) and put them aside for removing excess water. The resulting water suspensions were viewed under a microscope. We analyzed no less than 300 amoeba's tests in each sample and identified species composition and relative abundances. Also, we determined the density of testate amoebae assemblages in 1 g of air-dry substrate.

On the whole, we revealed 50 testate amoebae taxa. The dominant species are *Trinema lineare*, *Assulina muscorum*, *Trigonopyxis minuta* and *Corythion dubium*. Species composition of testate amoebae assemblages varied in the studied burnt areas in different habitats: sphagnum, green moss and habitats with dead bog surface. Relative abundances of sphagnophilic species increased in moss habitats. In the burned areas of bogs, we observed a single occurrence of testate amoebae species, which are typical of minerotrophic fens (*Cyclopyxis kahli*, *Heleopera petricola* v. *amethystea*, *Tracheleuglypha dentata*, *Trinema penardi*) and mineral soils (*Centropyxis aerophila*, *Cyclopyxis kahli*, *C. eurystoma*, *C. eurystoma* v. *parvula*, *Plagiopyxis penardi*, *Schoenbornia humicola*). The species *Cyclopyxis kahli* is common both for fens and mineral soils. Testate amoebae assemblages in bog habitats after wild fire exposure are characterized by higher values of the Shannon diversity index and equitability. An increase in the relative abundance of species of the genera *Trigonopyxis*, *Corythion*, *Trinema* was observed in burnt areas of the studied bogs. The results obtained in our study are in good agreement with those of other authors who have studied the assemblage structure of testate amoebae in the mires and moorlands exposed to wild fire. A comparison of testate amoebae assemblages is made on the burned areas (severely disturbed habitats with dead bog surface) and areas with restored sphagnum cover (sphagnum habitats) within the same bog. Using the similarity indexes (Raup-Crick, Morisita) and the method of Coleman rarefaction we showed that species composition of testate amoebae assemblages is depleted in the disturbed habitats in contrast to the sphagnum habitats. We revealed changes not only in species composition, but also in relative abundance of species in assemblages. There was no significant reduction in the population density of testate amoebae on the disturbed habitats in comparison to sphagnum habitats.

Funding: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 16-34-60057 mol_a_dk).

The article contains 2 Figures, 3 Tables, 42 References.

Key words: testate amoebae; wild fire; bog; oligotrophic mire; peatland.

References

1. Gongalsky KB, Persson T. Recovery of soil macrofayna after wildfires in boreal forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013;57:182-191. doi: [10.1016/j.soilbio.2012.07.005](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.005)

2. Akmet'eva NP, Belova SE, Dzhamalov RG, Kulichevskaya IS, Lapina EE, Mikhailova AV. Natural post-fire bog recovery. *Water Resources*. 2014;41(4):353-363. doi: [10.1134/S0097807814040022](https://doi.org/10.1134/S0097807814040022)
3. Gongalsky KB. Lesnye pozhary i pochvennaya fauna [Forest fires and soil fauna]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd.; 2014. 169 p. In Russian
4. Andrievskii VS, Yakutin MV. Pyrogenic transformation of destruction block components in soils of the northern-taiga ecosystem of Western Siberia, with particular reference to Oribatida and microorganisms. *Euroasian Entomological Journal*. 2015;14(5):468-474. In Russian, English summary
5. Danilova OV, Belova SE, Kulichevskaya IS, Dedysh SN. Decline of activity and shifts in the methanotrophic community structure of an ombrotrophic peat bog after wildfire. *Microbiology*. 2015;84(5):624-629. doi: [10.1134/S0026261715050045](https://doi.org/10.1134/S0026261715050045)
6. Zaitsev AS, Gongalsky KB, Malmstroem A, Persson T, Bengtsson J. Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review. *Applied Soil Ecology*. 2016;98:261-271. doi: [10.1016/j.apsoil.2015.10.012](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.012)
7. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005;143(1):1-10. doi: [10.1007/s00442-004-1788-8](https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8)
8. Kolichevskiy metody v pochvennoy zoologii [Quantitative Methods in Soil Zoology]. Gilyarov MS, Striganova BR, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1987. 288 p. In Russian
9. Bobrov AA. On the notion of microrange of soil testaceans. *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2003;30(1):87-94. doi: [10.1023/A:1022027913471](https://doi.org/10.1023/A:1022027913471)
10. Turner TE, Swindles GT. Ecology of testate amoebae in moorland with a complex fire history: implications for ecosystem monitoring and sustainable land management. *Protist*. 2012;163(6):844-855. doi: [10.1016/j.protis.2012.02.001](https://doi.org/10.1016/j.protis.2012.02.001)
11. Wanner M. Immediate effects of prescribed burning on terrestrial testate amoebae in a continental Calluna heathland. *Ecological Engineering*. 2012;42:101-106. doi: [10.1016/j.ecoleng.2012.01.015](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.01.015)
12. Mitchell EAD, Charman DJ, Warner BG. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future. *Biodivers Conserv*. 2008;17:2115-2137. doi: [10.1007/s10531-007-9221-3](https://doi.org/10.1007/s10531-007-9221-3)
13. Vomperskii SE, Glukhova TV, Smagina MV, Kovalev AG. Usloviya i posledstviya pozharov v sosnyakh na osushennykh bolotakh [The conditions and consequences of fires in pine forests on drained bogs]. *Lesovedenie – Russian Journal of Forest Science*. 2007;6:35-44. In Russian
14. Kopoteva TA, Kuptsova VA. Effect of fires on the functioning of phytocenoses of peat bogs in the Middle-Amur lowland. *Russian Journal of Ecology*. 2016;47(1):11-18. doi: [10.1134/S1067413615060089](https://doi.org/10.1134/S1067413615060089)
15. Kucerova A, Rectoris L, Stechova T, Bastl M. Disturbances on a wooded raised bog - how windthrow, bark beetle and fire affect vegetation and soil water quality? *Folia Geobot*. 2008;43:49-67. doi: [10.1007/s12224-008-9006-9](https://doi.org/10.1007/s12224-008-9006-9)
16. Efremova TT, Efremov SP. Torfyanye pozhary kak ekologicheskiy faktor razvitiya lesobolotnykh ekosistem [Peat fires as an environmental factor in the development of forest-wetland ecosystems]. *Ekologiya – Russian Journal of Ecology*. 1994;5:27-34. In Russian
17. Naumov AV, Kosykh NP, Parshina EK, Artymuk SY. Raised bogs of the forest-steppe zone, their state and monitoring. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009;2(6):671-677. doi: [10.1134/S1995425509060290](https://doi.org/10.1134/S1995425509060290)
18. Valutskiy VI. Vegetation of forest-steppe rams in the eastern part of Baraba. *Turczaninowia*. 2011;14(1):109-119. In Russian
19. Bolotnye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie [Mire systems of Western Siberia and their conservation value]. Kuvaev VB, editor. Tula: Grif i K Publ.; 2001. 584 p. In Russian

20. Mokhov II, Chernokulsky AV. Regional model assessment of forest fire risks in the asian part of Russia under climate change. *Geography and Natural Resources*. 2010;31(2):165-169. doi: [10.1016/j.gnr.2010.06.012](https://doi.org/10.1016/j.gnr.2010.06.012)
21. Malysheva EA, Tsyganov AN, Babeshko KV, Novenko EYu, Mazey YuA. Vidovoy sostav i struktura soobshchestv sfagnobiontnykh rakovinnykh ameb v bolotnykh ekosistemakh Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika [Species composition and community structure of testate amoebae inhabiting sphagnum in mire ecosystems of Mordovian State Nature Reserve]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. PG Smidovicha* [Proceedings of PG Smidovich Mordovian State Nature Reserve]. Rychin AB, main editor. Saransk, Pushta: 2014;12:330-336. In Russian
22. Wanner M, Xylander WER. Transient fires useful for habitat-management do not affect soil microfauna (Testate amoebae) – a study on an active military training area in eastern Germany. *Ecol. Engineer*. 2003;20:113-119. doi: [10.1016/S0925-8574\(02\)00124-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00124-6)
23. Bazanov VA, Egorov BA, L'gotin VA, Skugarev AA. Sovremennaya prostranstvennaya dinamika Bol'shogo Vasyuganskogo bolota (na primere mezhdurech'ya rek Iksa-Shegarka [Modern spatial dynamics of the Great Vasyugan Mire (the case of the Iksa- Shegarka interfluvium)]. In: *Bol'shoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* [The great Vasyugan Mire. Current status and development processes]. Kabanov MV, editor. Tomsk: VE Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAN; 2002. pp. 190-196. In Russian
24. Mazei YuA, Blinokhvatoeva YuV, Embulaeva EA. Specific features of the microspatial distribution of soil testate amoebae in the forests of the Middle Volga region. *Arid Ecosystems*. 2011;1(1):46-52. doi: [10.1134/S2079096111010069](https://doi.org/10.1134/S2079096111010069)
25. Gel'tser YuG, Korganova GA, Alekseev DA. Prakticheskoe rukovodstvo po identifikatsii pochvennykh testatsiy [Practical guidance on the identification of soil testaceans]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1985. 84 p. In Russian
26. Mazei YuA, Tsyganov AN. Presnovodnye rakovinnye ameby [Freshwater Testate Amoebae]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd.; 2006. 300 p. In Russian
27. Magurran AE. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Publ.; 2004. 256 p.
28. Cazzolla Gatti R. Biodiversita, in teoria e in pratica. Libreria Universitaria Edizioni; 2014. 358 p. In Italian
29. Colwell RK. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. 2013. [Electronic resource]. Available at: <http://purl.oclc.org/estimates> (accessed 10.05.2016).
30. Kurina IV. Ecology of testate amoebae as hydrological regime indicators in oligotrophic peatlands in the southern taiga of Western Siberia. *Izvestiya Penzenskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta imeni VG Belinskogo*. 2011;25:368-375. In Russian, English summary
31. Bobrov AA, Charman DJ, Warner BG. Ecology of testate amoebae from oligotrophic peatlands: specific features of polytypic and polymorphic species. *Biology Bulletin*. 2002;29(6):605-617. doi: [10.1023/A:1021732412503](https://doi.org/10.1023/A:1021732412503)
32. Heal OW. The distribution of testate amoeba (Rhizopoda: Testacea) in some fens and bogs in Northern England. *J. Linn. Soc. Zool*. 1961;44:369-382.
33. Kurina IV. *Rakovinnye ameby oligotrofnykh bolot Zapadnoy Sibiri* [Testate amoebae in oligotrophic peatlands of Western Siberia. CandSci. Dissertation, Biology]. Tomsk: Tomsk State University; 2012. 204 p. In Russian
34. Chardez D. Ecologie generale des Thecamoebiens. *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherche de Gembloux*. 1965;33:307-341. In French
35. Korganova GA. Struktura soobshchestv rakovinnykh ameb (Protozoa, Testacea) v raznykh sredakh obitaniya i adaptivnye osobennosti pochvennykh form [The structure of the testate amoebae communities (Protozoa, Testacea) in different habitats and adaptive features

- of soil forms]. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Biologicheskaya – Biology Bulletin*. 1991;3:410-420. In Russian
36. Bulatova UA. Fauna and ecology of Testacea from pine forests of Tomsk and Kemerovo regions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2010;2(10):58-67. In Russian, English summary
 37. Kurina IV, Preis YuI, Bobrov AA. Testate amoebae inhabiting middle taiga bogs in Western Siberia. *Biology Bulletin*. 2010;37(4):357-362. doi: [10.1134/S1062359010040059](https://doi.org/10.1134/S1062359010040059)
 38. Opravilova V, Hajek M. The variation of testacean assemblages (Rhizopoda) along the complete base-richness gradient in fens: a case study from the Western Carpathians. *Acta protozoologica*. 2006;45:191-204.
 39. Lamentowicz L, Gabka M, Rusinska A, Sobczynski T, Owsianny PM, Lamentowicz M. Testate amoeba (Arcellinida, Euglyphida) ecology along a poor-rich gradient in fens of Western Poland. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 2011;96(4):356-380. doi: [10.1002/iroh.201111357](https://doi.org/10.1002/iroh.201111357)
 40. Harnisch O. Rhizopodenanalyse der Moore. *Biologisches Zentralblatt*. 1948;67:551-562. In German
 41. Booth RK. Testate amoebae as paleoindicators of surface-moisture changes on Michigan peatlands: modern ecology and hydrological calibration. *Journal of Paleolimnology*. 2002;28:329-348. doi: [10.1023/A:1021675225099](https://doi.org/10.1023/A:1021675225099)
 42. Woodland WA, Charman DJ, Sims PC. Quantitative estimates of water tables and soil moisture in Holocene peatlands from testate amoebae. *The Holocene*. 1998;8:261-273. doi: [10.1191/095968398667004497](https://doi.org/10.1191/095968398667004497)

*Received 17 May 2016; Revised 4 August 2016;
Accepted 17 August 2016; Published 21 September 2016*

Author info:

Kurina Irina V, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Laboratory of Monitoring of Forest Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3 Academicheskoy Ave, Tomsk 634055, Russian Federation.

E-mail: irina.kuryina@yandex.ru

Klimova Nina V, Junior Researcher, Laboratory of Monitoring of Forest Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3 Academicheskoy Ave, Tomsk 634055, Russian Federation.

E-mail: klimnin@sibmail.com