



УДК 574.9, 591.5

## Пирогенная динамика структуры населения почвенной мезофауны в лесных сообществах Южно-Минусинской котловины (на примере участка Шунерского бора)

И. В. Балязин

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск*  
E-mail: [grave79@mail.ru](mailto:grave79@mail.ru)

**Аннотация.** Приведены результаты исследования послепожарных изменений мезофауны почв в сосновых лесах юго-восточной окраины Минусинской котловины. Выявлены основные направления восстановительных процессов в структуре и численности почвенного мезонаселения на разновозрастных гарях. В первый год после пожара численные показатели почвенных беспозвоночных снижаются до критического уровня, при этом население пополняется за счёт степных видов. В дальнейшем происходит изменение основных экологических параметров лесной экосистемы и условия обитания становятся более благоприятными. В составе мезонаселения постепенно восстанавливаются практически все группы беспозвоночных, на таксономическом уровне повышается естественное биоразнообразие почвенных сообществ.

**Ключевые слова:** почвенная биота, восстановительные процессы, пирогенное воздействие.

### *Введение*

Антропогенные факторы совместно с природно-климатическими оказывают ныне основополагающее влияние на формирование, возникновение и сезонное распределение пожаров в лесах [1]. Межпожарный интервал в лесах умеренного пояса Евразии сократился в среднем до 5–12 лет, а в некоторых регионах Сибири до 1–2 лет. Гари на юге Сибири составляют сегодня до 30 % лесопокрытой площади. Особенно масштабные пирогенные изменения происходят на окраинах таёжной зоны, где наиболее активно взаимодействуют, усиливая друг друга, факторы потепления климата и антропогенного вмешательства. В результате в светлохвойных лесах на лёгких почвах пожары порой составляют не отдельные пятна на общем ландшафтном фоне, а доминирующий тип экосистем [12].

В последнее время возрос интерес к проблеме функционирования лесных сообществ на фоне постоянно возрастающего пирогенного влияния. В пределах рассматриваемой территории пирогенная динамика является ныне основным механизмом обновления естественных лесов. Наиболее мощное влияние пожары оказывают на почвенные сообщества лесов, при этом пирогенная динамика сообществ почвенного мезонаселения изучена совершенно недостаточно. Мезонаселение почв – сообщества

гетеротрофных немикроскопических беспозвоночных, связанных между собой непосредственно или опосредованно через другие виды и/или совместным использованием трофических ресурсов и территории географического масштаба, объединённых на основе общности распределения соответствующего типа почвы и растительности [19].

Изменение свойств почв после пожаров обусловлено действием высоких температур и одновременным поступлением на поверхность почвы золы от сгорания подстилки и других горючих материалов. Пиролиз подстилок сопровождается уменьшением их мощности, запасов, существенно изменяется фракционный состав, что в дальнейшем влияет на свойства почв, особенно их верхних горизонтов. Низовые пожары подстилично-гумусового вида резко изменяют морфологический облик верхней части почвенного профиля. Формируется новый маломощный органогенный пирогенный горизонт ( $O_{pir}$ ), который по физико-химическим свойствам и биологическому круговороту зольных элементов отличается от природных аналогов. При сгорании подстилки и живого напочвенного покрова происходит высвобождение большого количества зольных элементов. Количество зольных элементов в подстилках старых гарей зависит, главным образом, от направленности сукцессии живого

напочвенного покрова, продукты разложения которых существенно изменяют химический состав подстилок [11; 16; 17; 18; 21].

Степень воздействия пирогенного фактора и последующее восстановление почвенной системы зависят от интенсивности пожара, времени, прошедшего после предыдущего пожара, а также от типа почвы и растительности [4; 15]. Для таёжных лесов характерно наличие мозаики участков, с разной частотой и интенсивностью подвергающихся воздействию пожаров. При полном выгорании лесного опада направление послепожарных сукцессий зависит от многих факторов и нередко приводит к формированию длительно сохраняющихся и отличных от исходных экосистем. Изменяется химический и минералогический состав почв, температура поверхностного слоя, практически полностью отсутствует лесная подстилка. Уничтожение напочвенного покрова приводит к увеличению освещённости почвенного покрова, что в свою очередь приводит к дефициту влаги. Влияние пожара изменяет пространственную неоднородность величин данных факторов, что в первую очередь влияет на распространение почвенного мезонаселения [3; 14].

Целью нашего исследования стало изучение динамических процессов пирогенных трансформаций, происходящих в сообществах почвенных беспозвоночных на типичном для региона участке светлохвойного леса.

### **Материалы и методы**

Наблюдения за послепожарной динамикой комплексов почвенной мезофауны проводились на модельном участке Шунерского бора (Шушенский район Красноярского края) в течение 2006–2010 гг. Участок расположен на надпойменной террасе правого берега р. Енисей и представляет собой сосновый злаково-разнотравно-зеленомошный лес, относящийся к южнотаёжным соснякам на аллювиальной тёмногумусовой (дерново-карбонатной) почве. Профиль состоит из относительно мощного зернисто-комковатого тёмногумусового горизонта. В переходном от гумусового к материнской породе горизонте содержатся карбонаты, не имеющие морфологического выражения [8]. Вскипание почвы начинается с 25 см. На территории бора были выбраны послепожарные участки разного возраста: от свежей гари до участков, пожары на которых не происходили продолжительное время.

Территория исследований располагается в зоне с высокой антропогенной нагрузкой

(сельское хозяйство, вырубки и пр.). К лесам примыкают крупные сельскохозяйственные объекты (пашни, сенокосы) и большое число поселений (посёлки, станицы). Причиной лесных пожаров антропогенной природы становится неправильное использование открытого огня (незатушенные костры), при этом частота их возникновения нередко обусловлена сезонными особенностями аграрных работ на соседних участках (весеннее бесконтрольное выжигание прошлогодней травянистой растительности на сенокосах и залежах).

Исследования выполнены согласно единой методике с использованием сравнительно-географического подхода. Сбор материала и его обработка осуществлялись по методикам, рекомендованным для эколого-фаунистических, почвенно-зоологических и биогеоценологических исследований. Для определения численности и биомассы обитателей почвы и подстилки на каждой площади с применением монолитореза размером 25×25 см отбирали 6–8 проб до глубины 25–40 см (в зависимости от предельной глубины встречаемости беспозвоночных). Отбор проб на обследуемом участке производился по диагонали или равномерно по всей площади [7; 9; 13; 20].

Для сравнительного анализа использовались широко распространённые в почвенно-зоологических исследованиях расчёты количества беспозвоночных на единицу площади земной поверхности (экз., мг, г/м<sup>2</sup>) [4; 6; 14]. Количественные характеристики (численность и биомасса педобионтов) представлены графически по средним (суммарным) для каждой площади величинам с использованием методов математической статистики и программ Excel из пакета MS Office 2003, Adobe Photoshop CS4 и PaintNet 3.5.11.

### **Результаты и обсуждение**

Комплексы почвенных беспозвоночных являются достаточно устойчивыми структурами и нарушения их качественного и количественного состава отражают степень воздействия экзогенных факторов в целом на всю систему. Однако под воздействием низовых пожаров функционально-трофическая структура комплекса почвенного населения резко изменяется. Известно, что в ходе восстановления южнотаёжных сосновых лесов после сильных низовых пожаров в процессе изменения структуры почвенного мезонаселения выделяются три временных отрезка. Пионерный этап (1–2 года после пожара) представлен сообществом, со-

стоящим из немногих видов – г-стратегов. Медиальный этап характеризуется сукцессией с практически полной деградацией в населении таксонов всех почвенных животных. В ходе терминального этапа через 15–20 лет после пожара видовое разнообразие превышает уровень климаксовых сообществ негорелых лесов [12].

Наши исследования связаны с изучением изменения биоразнообразия мезонаселения почв при низовых пожарах средней интенсивности, после воздействия которых также можно выделить три этапа восстановительных изменений структуры, численности и биомассы почвенных беспозвоночных.

Основной лесобразующей породой на прирусловых террасах правобережья р. Енисей являются насаждения сосны обыкновенной, отличающиеся повышенной пожароопасностью. Эта особенность светлых лесов усугубляется засушливым климатом региона, вследствие чего сосняки подвергаются регулярному воздействию пожаров. Прошедший в Шунерском бору весной 2006 г. лесной пожар, последствия которого рассматриваются в данном исследовании, можно классифицировать как низовой средней интенсивности, местами уничтоживший всю ветошь и живой напочвенный покров.

В подобных пожарах большая часть населения почв погибает, после них из комплекса почвенных беспозвоночных исчезают многие сапрофаги, снижается разнообразие растительных форм. Однако из-за неоднородности почвенного покрова некоторые участки остаются незатронутыми огнем, что позволяет части беспозвоночных выжить. Другие почвенные обитатели выживают, зарывшись глубоко в землю. Все они могут быстро распространиться по территории сгоревших участков леса, однако новые условия оказываются для них малопригодными и численность их быстро снижается.

Основная роль в заселении свежих пожарищ принадлежит представителям пиротрофных групп, в которых большая доля видов приходится на хищников. Это так называемые г-стратеги – пионерные виды нарушенных огнем местообитаний. Среди всех групп животных процветают типичные г-стратеги – хищные муравьи (*Formicidae*). Муравьи имеют большую вертикальную мобильность за счёт того, что их гнёзда обладают разветвлённой системой под-

земных ходов, что позволяет им нивелировать вызванные пожаром гидротермические изменения. В структуре населения представителей отряда жёсткокрылых (*Coleoptera*) наблюдается тенденция, связанная с такой особенностью формирования почвенного населения района, как соседство со степным почвенным комплексом. Поэтому в составе почвенного населения нередко присутствуют представители сугубо степной фауны: высокоподвижные жуки пластинчатогусые (*Scarabeidae*) и чернотелки (*Tenebrionidae*).

Появление К-стратегов происходит через несколько лет, что обусловлено ходом восстановительных процессов, формирующих пригодные для обитания условия среды [2; 5; 14; 22]. На свежих гарях отсутствуют кольчатые черви энхитреиды (*Oligochaeta, Enchytraeidae*), но нередко встречаются участки с высокой численностью дождевого червя *Eisenia nordenskioldi* (Eisen, 1879) (*Lumbricidae*) (рис. 1). Дождевые черви могут глубоко зарываться в почву и таким образом пережидать неблагоприятное воздействие пожара. Через год после пожара отмечается резкое снижение численности дождевых червей и губоногих многоножек (*Chilopoda*), обусловленное спецификой их питания. Среди многоножек до критической отметки снижается также численность литобиид (*Lithobiidae*), а геофилы (*Geophilidae*) полностью исчезают из структуры почвенного мезонаселения.

Таким образом, после пирогенного воздействия общая численность почвенной мезофауны оказывается более чем вдвое ниже, чем на участках леса, где продолжительное время не было пожара (см. рис. 1).

После пожара кроме энхитреид полностью исчезают представители и других групп беспозвоночных: брюхоногие моллюски – гелициды (*Mollusca, Gastropoda, Stylommatophora, Helicidae*), двупарноногие многоножки – кивсяки (*Myriapoda, Diplopoda, Juliformia*), пауки (*Arachnida, Aranei*). Выпадение этих групп беспозвоночных связано с полной или частичной гибелью во время пожара, большой зависимостью от изменения гидротермических и геохимических условий местообитания, резким сокращением кормовых ресурсов. Большинство других групп беспозвоночных также проявляют тенденцию к снижению численности.

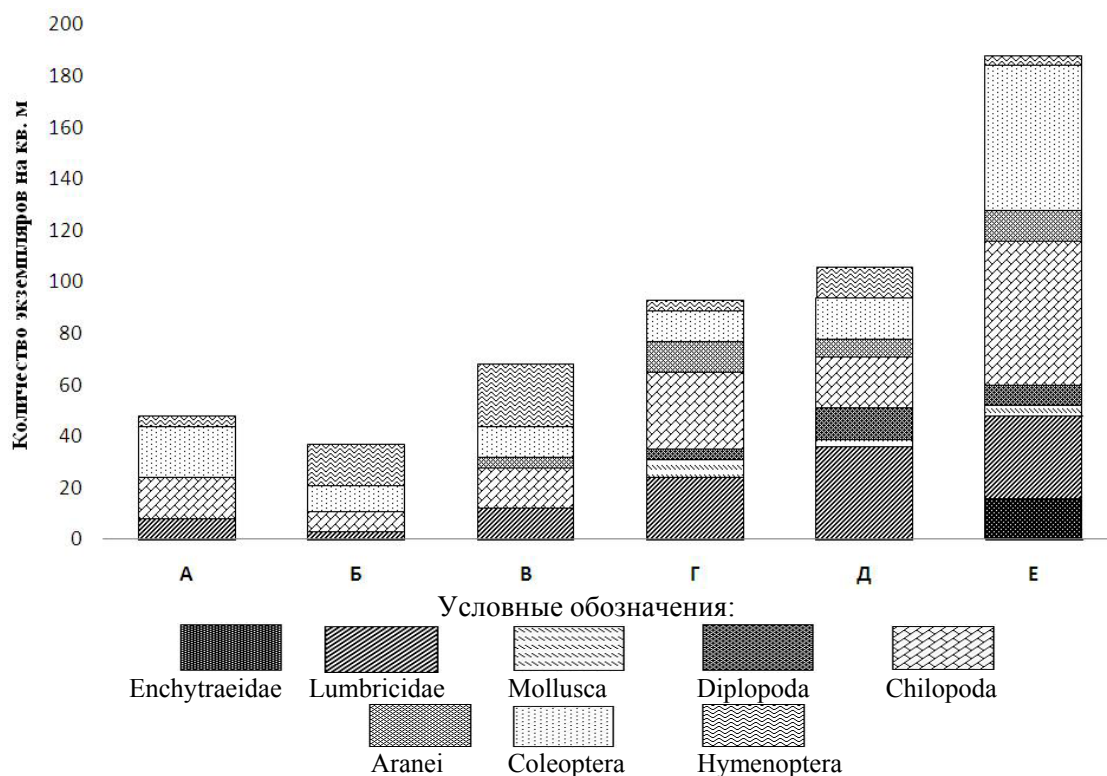


Рис. 1. Изменения структуры почвенного мезонаселения соснового леса в ходе восстановительных процессов после пирогенного воздействия (на примере Шунерского бора, юг Красноярского края): А – 1 месяц после пожара; Б – 1 год после пожара; В – 2 года; Г – 3 года; Д – 5 лет; Е – не горевший участок

Через два года в трофической структуре мезонаселения почв появляются крупные облигатные хищники – пауки и геофилы. В несколько раз возрастает численность дождевых червей, однако по-прежнему отсутствуют сапрофильные К-стратеги – двупарноногие многоножки, которые относятся к активным кальцефильным минерализаторам и зависят от накопления достаточного слоя подстилки: они появляются в структуре почвенного населения через три года. Тогда же удваивается численность дождевых червей и губоногих, отмечается значительный рост численности пауков и резкое снижение численности муравьёв, что связано с возрастающей конкуренцией со стороны пауков – хищных К-стратегов.

На лесных участках, где в течение пяти лет не было пожаров, гидротермический режим становится более благоприятным, однако недостаточно комфортным. Спустя пять лет после пожара средней интенсивности биоразнообразие мезонаселения практически восстанавливается, хотя в структуре населения отсутствуют энхитреиды. При этом средняя численность беспозвоночных остаётся несколько ниже, чем на фоновых участках леса, где продолжительное время отсутствовали пожары.

Общая биомасса беспозвоночных в лесах с пирогенной обстановкой втрое ниже, чем на участках без следов пожара. Учитывая, что биомасса дождевых червей составляет более 80 % от биомассы всей почвенной фауны, резкое её снижение связано с тем, что большая часть почвенных животных обитает в верхних слоях почвы, которая выгорает в первую очередь. Изменение биомассы после пожара происходит скачкообразно, резко снижаясь до критического состояния. Дальнейшее изменение общей биомассы идёт по направлению увеличения год от года (табл.). Процесс возрастания общей биомассы в сообществах почвенного мезонаселения происходит параллельно с восстановлением численности дождевых червей. Однако через год после пожара основная биомасса приходится не на дождевых червей, а на крупных жёсткокрылых (пластинчатоусых и чернотелок). Эти наиболее подвижные беспозвоночные могут проникать на территорию гарей из соседних участков, занимая нишу крупных сапрофагов. В дальнейшем происходит восстановление численности основных групп «типично лесных» беспозвоночных. Смена растительных сообществ и накопление ветоши и опада приводит к восстановлению общей биомассы почвенных беспозвоночных. Через

пять лет после пожара численность дождевых червей оказывается сопоставимой и даже несколько выше таковой в не горевшей части леса (см. табл.).

По показателям численности мезонаселения почв определены соотношения средней

плотности населения участков леса, находящихся на разных этапах восстановления после пирогенного воздействия и не горевших (фоновых) (рис. 2).

Таблица

Средняя биомасса мезонаселения в восстанавливающихся после пожара средней интенсивности почвенных сообществах Шунерского бора

Группы беспозвоночных	Средняя биомасса почвенного мезонаселения, мг/м <sup>2</sup>					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Enchytraeidae	–	–	–	–	–	40
Lumbricidae	452	787	2552	6284	9444	9032
Mollusca	–	–	–	292	102	36
Diplopoda	–	–	–	48	52	36
Chilopoda	172	32	120	340	166	424
Aranei	9	–	16	56	21	168
Coleoptera	317	1783	224	912	649	852
Hymenoptera	72	12	148	24	291	28
Всего	2022	2614	3112	7956	10725	10616

Примечание: А – 1 месяц после пожара; Б – 1 год после пожара; В – 2 года; Г – 3 года; Д – 5 лет; Е – не горевший участок.

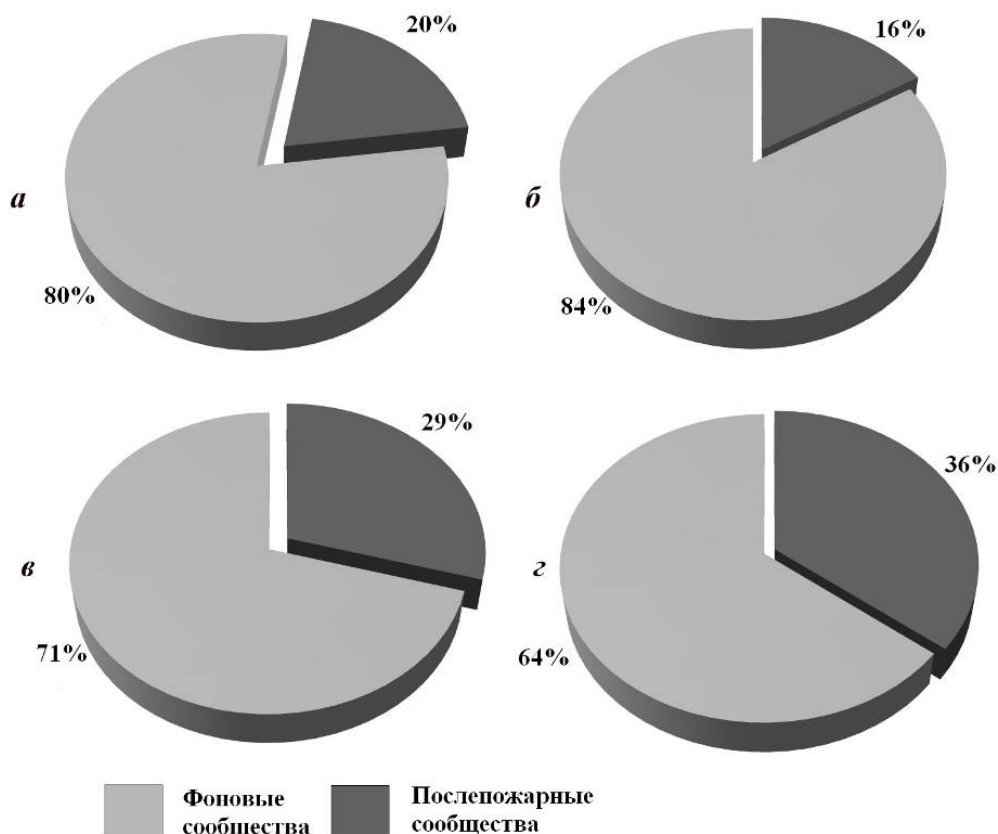


Рис. 2. Изменение соотношения плотности (средней численности) почвенного мезонаселения соснового леса в ходе восстановительных процессов после пирогенного воздействия (на примере Шунерского бора): а – пионерный этап (после пожара); б – пионерный этап (1 год после пожара); в – медиальный этап (2–4 года после пожара); г – терминальный этап, начальная стадия (5 лет после пожара)

Данная схема характеризует постепенное восстановление численности населения после пожара. Пионерный этап начинается сразу после пожара, когда плотность населения снижается в 4 раза по сравнению с не горевшими участками. Через год после пожара средняя плотность беспозвоночных падает до минимального для всего послепожарного периода значения. Медиальный этап наступает на второй год после пожара, когда в структуре мезонаселения появляются К-стратеги, что положительно сказывается на плотности почвенных беспозвоночных. Завершение этого этапа связано с практически полным восстановлением структуры почвенного мезонаселения и некоторым замедлением роста средней численности. Определение сроков терминального этапа, когда плотность почвенного населения в восстанавливаемых после пожара лесах приблизится к фоновому значению, осложнено растущим антропогенным влиянием на лесные сообщества изучаемой территории. Частые пожары возвращают почвенные биогеоценозы к критическому состоянию. Этот повторяющийся процесс приводит к изменениям динамических характеристик (структура, численность, биомасса) сообщества почвенных беспозвоночных.

#### **Заключение**

Установлено, что таксономическое биоразнообразие пирогенных сообществ почвенного мезонаселения вдвое ниже, чем на длительно не горевших участках. Через год после пожара эти сообщества находятся в депрессивном состоянии. Гидрологические, термические и геохимические условия изменения почвенного покрова, угнетённая растительность и, следовательно, бедная кормовая база для фитофагов и сапрофагов определяют минимальную по отношению к фоновой численность почвенного населения. Однако ряд групп беспозвоночных (г-стратеги) в данных условиях сохраняют высокую численность, причём некоторые являются «пришельцами» из соседних степных сообществ. Позднее отмечается усиленное увеличение структурно-численных показателей комплекса беспозвоночных. В его составе появляются некоторые «выпавшие» группы беспозвоночных, растёт численность и биомасса основных потребителей отмершей растительности и древесного опада. Этот период продолжается примерно 3–4 года, после чего наступает некоторое замедление в росте численности основных групп беспозвоночных, структура мезонаселения почв приближается к допожарному

уровню, биомасса этих сообществ оказывается даже выше исходной. Однако плотность населения почвенной мезофауны восстанавливающихся сообществ в этот период остаётся в 1,8 раза ниже, чем в лесах с продолжительным отсутствием пожаров.

Низовые пожары средней интенсивности менее разрушительно действуют на сообщества почвенной мезофауны, чем пожары большой интенсивности. Процесс восстановления структуры и численности комплекса почвенных беспозвоночных в сообществах соснового леса после таких пожаров протекает примерно за пять лет, тогда как во втором случае восстановительные этапы растягиваются на более длительные сроки, а в некоторых случаях полного восстановления не происходит вовсе. При росте антропогенного воздействия перерывы между пожарами сокращаются, что неминуемо ведёт к заметным изменениям в сообществах почвенной мезофауны и в экосистеме в целом.

#### **Литература**

1. Андреев Ю. А. Закономерности распределения лесных пожаров / Ю. А. Андреев // Методы и средства борьбы с лесными пожарами. – М.: ВНИИЛМ, 1986. – С. 43–52.
2. Безкоровайная И. Н. Пирогенное воздействие на педокомплексы микроартропод в шелкопрядниках нижнего Приангарья / И. Н. Безкоровайная, Ю. Н. Краснощеков // Энтомологические исследования Сибири. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2004. – Вып. 3. – С. 36–43.
3. Безкоровайная И. Н. Роль почвенных беспозвоночных в деструкции органического вещества лесных экосистем Енисейского меридиана: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / И. Н. Безкоровайная. – Красноярск, 2009. – 41 с.
4. Бессолицына Е. П. Ландшафтно-экологический анализ структуры зооценозов почв юга Сибири / Е. П. Бессолицына. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2001. – 166 с.
5. Бессолицына Е. П. Изменение структуры энтомоценозов в результате пирогенной трансформации таежных геосистем / Е. П. Бессолицына, И. В. Балязин // Энтомологические исследования в Северной Азии. VII межрегион. совещание энтомологов Сибири и Дальнего Востока. – 2006. – С. 202–204.
6. Гиляров М. С. Учёт крупных беспозвоночных (мезофауна) / М. С. Гиляров // Количественные методы в почвенной зоологии. – М., 1987. – С. 9–18.
7. Голуб В. Б. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала / В. Б. Голуб, М. Н. Цуриков, А. А. Прокин. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. – 339 с.

8. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов [и др.]. – Смоленск : Ойкумена – 2004. – 342 с.
9. Количественные методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова [и др.]. – М. : Наука, 1987. – 288 с.
10. Краснощекова Е. Н. Воздействие высоких температур на микроартропод почв при пожарах в лиственничниках Нижнего Приангарья / Е. Н. Краснощекова, И. В. Косов, Г. А. Иванова // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – 25, № 3–4. – С. 250–256.
11. Лебедева Н. В. Биологическое разнообразие и методы его оценки. География и мониторинг биоразнообразия / Н. В. Лебедева, Д. А. Кривоуцкой // Сохранение биоразнообразия : Серия учеб. пособий. – М. : Изд-во НУМЦ, 2002. – С. 13–142
12. Мордкович В. Г. Проблема лесных пожаров и пирогенных сукцессий сообществ почвенных членистоногих в Сибири / В. Г. Мордкович, И. И. Любечанский, О. Г. Брезина // Сиб. экол. журн. – 2007. – № 2. – С. 169–181.
13. Палий В. Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых / В. Ф. Палий. – Воронеж : Центр.-Чернозем. книж. изд-во, – 1970. – 189 с.
14. Покаржевский А. Д. Пространственная экология почвенных животных / А. Д. Покаржевский, К. Б. Гонгальский, А. С. Зайцев. – М. : Т-во науч. изд. КМК – 2007. – 175 с
15. Послепожарная трансформация микробеценозов и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири / А. В. Богородская [и др.] // Сиб. экол. журн. – 2010. – Т. 17, № 6. – С. 893–901.
16. Послепожарное функционирование лесных экосистем в Восточном Прибайкалье / Ю. Н. Краснощеков [и др.] // Сиб. экол. журн. – 2010. – № 2. – С. 221–230.
17. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // Э. П. Попова / Сиб. экол. журн. – 1997. – № 4. – С. 413–418.
18. Сапожников А. П. Пирогенез лесных почв и прогноз трансформации биогеоценозов / А. П. Сапожников // Горение и пожары в лесу : сб. ст. – Красноярск, 1978. – С. 162–165.
19. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты / отв. ред. Г. В. Добровольский. – М. : Наука, 2003. – 364 с.
20. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати. – М. : Высш. шк., 1971. – 423 с.
21. Ярошенко А. Ю. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России / А. Ю. Ярошенко, П. В. Потапов, С. А. Турубанова. – М. : Гринпис России, 2001. – 75 с.
22. Muona I. The short-term impact of fire on the beetle fauna in boreal coniferous forest / I. Muona, I. Rutanen // *Annales zoologici Fennici* – 1994. – Vol. 31, № 1. – P. 109–121.

## Pyrogenic dynamics of soil mesofauna structure in the forest associations of Minusinsk depression (as exemplified of the Shunersky pine forest)

I. V. Balyazin

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk*

**Abstract.** The study results of the post-fire changes in soil mesofauna of the pine forests in south-eastern outskirts of Minusinsk depression. The main directions of regenerative processes are revealed in the structure and number of mesopopulation of soils within burnet areas of different age. In the first year after fire numerical indicators of soil invertebrates are reduced up to a critical level, however steppe species penetrate into the population structure. Further, the main environmental parameters of the forest ecosystem change and habitat conditions become more favorable. Almost all groups of invertebrates are gradually building back as a part of mezopopulation, natural biodiversity of soil communities increases at the taxonomic level.

**Keywords:** soil biota, regenerative processes, pyrogenic influence.

*Балязин Иван Валерьевич  
Институт географии им В. Б. Сочавы СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
инженер  
тел. (3952) 42-70-95  
E-mail: grave79@mail.ru*

*Balyazin Ivan Valeryevich  
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
engineer  
phone: (3952) 42-70-95  
E-mail: grave79@mail.ru*