

УДК 574.4+502.5

О. Е. Чащина  
Н. Б. Куянцева  
А. Г. Мумбер  
А. Б. Потапкин  
Д. В. Веселкин

### Живой напочвенный покров сосновых лесов под влиянием лесных пожаров в районе выбросов Карабашского медеплавильного комбината

Проведено сравнение значений двух факторов состояния живого напочвенного покрова: техногенного загрязнения и низовых лесных пожаров. Для этого оценивалось  $\alpha$ -разнообразие и обилие травяно-кустарничкового яруса, а также обилие мохового яруса на 19 пробных площадях в сосновых лесах на Южном Урале. 11 площадей располагались вблизи Карабашского медеплавильного комбината; 8 — в Ильменском заповеднике. Все площади были сгруппированы по признаку пожарного нарушения: нарушенные низовыми пожарами (горели 7—14 лет назад); долгое время не нарушенные (горели 23—48 лет назад). Установлено, что основная причина изменчивости состояния живого напочвенного покрова — техногенное загрязнение. С ним связаны 41—72% дисперсии изученных признаков напочвенного покрова. Изменчивость состояния травяно-кустарничкового и мохового ярусов, связанная с пожарными нарушениями, в 3—7 раз меньше.

**Ключевые слова:** техногенное загрязнение, низовые лесные пожары, сосновые леса, живой напочвенный покров, видовое богатство, обилие, Южный Урал, Ильменский заповедник, Карабашский медеплавильный комбинат.

#### Введение

Лесные пожары и техногенные воздействия — важные факторы состояния лесов. Чаще всего их эффекты анализируются и трактуются как негативные. Разница между пирогенными и техногенными воздействиями очевидна. Огонь — естественный, регулярный и необходимый фактор существования лесов, особенно светлохвойных. Лесные деревья, их популяции и сообщества адаптированы к периодическому воздействию огня. Катастрофические следствия, например полное послепожарное разрушение и переход в устойчивое безлесное состояние, часто сопряжены с предшествующими антропогенными вмешательствами: с изменением видовой, возрастной и пространственной структуры древостоев; с тушением низовых пожаров. Техногенное воздействие через загрязнение атмосферы и почвы — не естественный фактор состояния лесов. При сильном загрязнении вблизи крупных промышленных предприятий леса могут глубоко нарушаться или разрушаться.

Несмотря на то что загрязнение и пожары активно обсуждаются как важные факторы состояния и динамики лесов, примеры анализа их сочетанного влияния фактически отсутствуют. Чаще всего в разного рода обзорных работах эффекты, связанные с техногенными эмиссиями и пожарами, их возможное взаимодействие обсуждаются с очень общих позиций, когда в отношении и загрязнения и пожаров констатируется, что они — важные факторы состояния лесов [11; 12; 14].

Фактически нам известны только две работы, в которых одновременно на одном и том же материале обсуждаются эффекты промышленного загрязнения и лесных пожаров для растительных компонентов биоты сосновых лесов. В одном случае анализировали успешность возобновления сосны [8], в другом — разнообразие эпигейных лишайников [1]. В обеих публикациях не приведено строгого количественного сопоставления силы

© Чащина О. Е., Куянцева Н. Б., Мумбер А. Г., Потапкин А. Б., Веселкин Д. В., 2017

эффектов, связанных с техногенными воздействиями и пожарами. Еще в одной работе сравниваются особенности влияния на леса пожаров и нефтяных разливов [4]. Эти разрозненные сведения не позволяют оценить взаимодействие эффектов пожаров и загрязнений, установить, что более критично для компонентов лесов, оценить вероятность взаимного усиления или компенсации их последствий.

Цель работы: сравнить влияние низовых пожаров и промышленного загрязнения выбросами Карабашского медеплавильного комбината на состояние живого напочвенного покрова сосновых лесов.

### Материалы и методы

Мы сопоставили оценки обилия и числа видов травяно-кустарничкового яруса, обилия мохового яруса в сосновых (*Pinus sylvestris* L.) лесах с разной давностью последнего низового пожара в двух районах Южного Урала с контрастно различающимися уровнями техногенного загрязнения экосистем — в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината (КМК) и в Ильменском государственном заповеднике (ИГЗ).

**Район.** Район относится к подзоне южнотаежных сосново-березовых лесов восточного макросклона Южного Урала (Челябинская область). Типичные высоты возвышенностей — 250—600 м над ур. м. Представлены бурые горно-лесные, бурые лесные, оподзоленные глееватые, серые горно-лесные, черноземы горно-лесные, горно-подзолистые маломощные почвы. Климат континентальный, умеренно холодный. Самый холодный месяц — январь (среднемесячная температура  $-16...-17^{\circ}\text{C}$ ), самый теплый — июль ( $+18^{\circ}\text{C}$ ); продолжительность вегетационного периода — 160—170 дней; количество осадков — около 430 мм в год; высота снежного покрова — до 40 см. Преобладающие типы растительности — сосняки зеленомошные, зеленомошно-разнотравные, разнотравные и производные березняки злаково-разнотравные.

Экосистемы вблизи КМК сильно трансформированы, прежде всего вследствие промышленного загрязнения. КМК — крупный источник выбросов, основные из которых —  $\text{SO}_2$  и пыль тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb). Производство запущено в 1910 г., и максимальные объемы выбросов (до 140—360 тыс. т в год) были достигнуты в 1970—1980 гг. [13]. В период 1990—1998 гг. производство меди было остановлено, и после повторного открытия и модернизации производства объемы выбросов снизились до порядка 10 тыс. т [5]. Вследствие накопленного сильнейшего техногенного загрязнения на ближайших к комбинату территориях зональные экосистемы полностью разрушены: растительность и верхние части исходных почв отсутствуют, образовалась обширная техногенная пустошь.

Уровни накопления выбрасываемых КМК тяжелых металлов в двухлетней хвое *Pinus sylvestris* в ближайших к КМК сосновых лесах на расстояниях 3,5—5 км от источника выбросов, т.е. в той же зоне, в которой расположены участки, изученные в настоящей работе, составляют: Cu — 8—18 мкг/г, Zn — 70—150 мкг/г, Pb — 30—105 мкг/г; в Ильменском заповеднике уровни накопления металлов в двухлетней хвое в 4—70 раз меньше: Cu — 2—3 мкг/г, Zn — 40—45 мкг/г, Pb — 1,5—3 мкг/г [7]. Важный фактор состояния лесных экосистем региона — лесные пожары [10].

**Пробные площади (ПП).** ПП заложены в средних элементах рельефа на горных фрагментарных и горно-лесных бурых неполноразвитых почвах. Подбирали участки древостоев с деревьями сосны среднего возраста 60—190 лет в ИГЗ и 65—105 лет вблизи КМК, всегда с долей сосны в древостое не менее 50%. Общее число ПП — 19: 11 ПП вблизи КМК, 8 ПП в ИГЗ (рис. 1; табл. 1).

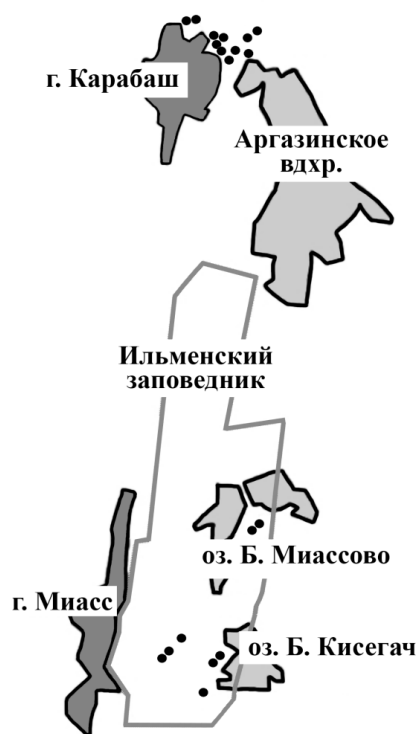


Рис. 1. Район и расположение пробных площадей (●)

Таблица 1

Характеристики пробных площадей и признаки состояния живого напочвенного покрова

Номер пробной площади	Координаты		Состав древостоя	Год последнего пожара	Покрытие, %		Число видов ТКЯ
	с. ш.	в. д.			мхи	ТКЯ	
Район ИГЗ; горелые участки							
1	55.141235	60.324774	10С	2010	2.0	55.0	28
2	55.021002	60.249465	8С2Б	2010	7.0	35.0	29
Район ИГЗ, давно горелые (фоновые) участки							
3	55.041672	60.186496	9С1Л	1969	45.0	55.0	44
4	55.034860	60.278710	10С	1994	65.0	55.0	49
5	55.038700	60.277670	8С2Б	1994	75.0	55.0	44
6	55.037620	60.179553	9С2Л	1969	80.0	75.0	50
7	55.138586	60.328980	10С+Б	1980	85.0	75.0	16
8	55.041672	60.186496	5С1Л4Б	1969	95.0	55.0	48
Район КМК; горелые участки							
9	55.510960	60.287850	8С2Б	2010	0.1	3.5	22
10	55.502228	60.291420	10С+Б	2004	0.1	7.0	19
11	55.513140	60.276780	10С+Б	2009	0.1	7.0	21
12	55.506801	60.283012	10С	2008	0.1	27.5	15
13	55.513140	60.276780	7С3Б	2009	0.1	35.0	27
14	55.509650	60.323650	6С4Б	2003	0.1	35.0	34
15	55.518823	60.329695	10С+Б	2009	1.0	35.0	40
Район КМК; давно горелые участки							
16	55.511390	60.318923	8С2Б	1988	0.1	12.5	19

Продолжение табл. 1

Номер пробной площади	Координаты		Состав древостоя	Год последнего пожара	Покрытие, %		Число видов ТКЯ
	с. ш.	в. д.			мхи	ТКЯ	
17	55.511003	60.287627	8С2Б	1988	0.1	25.0	28
18	55.511751	60.321362	9С1Б	1988	0.1	35.0	26
19	55.517615	60.324341	10С+Б	1988	2.0	12.5	28

**Примечание:** ТКЯ — травяно-кустарничковый ярус.

Критерием давности пожарного нарушения приняли рубеж в 20 лет. ПП, на которых низовые пожары регистрировались в последние 7—14 лет, считали «горелыми». ПП с давностями пожаров 23—48 лет — «давно горелыми». Год пожаров устанавливали по «Книге учета пожаров Ильменского заповедника», «Книге учета пожаров Агардяшского лесничества» и «Книге учета лесных пожаров Карабашского лесничества». Горелые ПП пройдены низовыми устойчивыми средними пожарами. Давно горелые участки на территории ИГЗ, не испытывающие техногенного влияния и длительное время после пожарного нарушения развивающиеся в спонтанном режиме, можно считать фоновыми, или контрольными, по отношению к остальным площадям.

**Геоботанические описания** выполнены в июле и первой половине августа 2017 г. Площадь описания на каждой ПП 10×10 м. Фиксировали: общее проективное покрытие (в %), число видов травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) и общее проективное покрытие яруса напочвенных мхов [9].

**Статистический анализ** полученных данных выполнен с использованием пакета STATISTICA 8.0 (StatSoft, Inc., USA, 1984—2007). Различия признаков в связи с влиянием факторов «загрязнение» и «пожар» оценивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) с градациями факторов: загрязнение — КМК или ИГЗ; давность последнего пожара — горелые или давно горелые. Единица при проведении ANOVA — значение признака на ПП. Разделение долей дисперсий признаков, связанных с факторами, выполнили с использованием метода максимального правдоподобия и алгоритма MIVQUE(0) без оценки взаимодействия между факторами «загрязнение» и «пожар». Доли покрытия ТКЯ и мохового яруса перед проведением расчетов подвергали арксинус-преобразованию.

### Результаты

Изученные ПП в ИГЗ представлены сосновыми зеленомошными на каменистых обнажениях и зеленомошно-разнотравными лесами [2]. В связи с отсутствием в ИГЗ лесохозяйственной деятельности смены пород относительно редки. Основные лесообразователи — *Pinus sylvestris* L. и *Betula pendula* Roth.

На фоновых ПП среди кустарников с обилием *sp* встречаются *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klásk., *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt и *Sorbus aucuparia* L.; с обилием *sol* представлены *Lonicera tatarica* L., *Rubus idaeus* L. и *Ribes nigrum* L. и др. Покрытие ТКЯ — 40—60%. Доминируют с обилием *cop*<sub>1</sub>-*sp* *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Rubus saxatilis* L. С незначительным обилием встречаются *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., *Melica nutans* L., *Chimaphila umbellata* (L.) W. P. C. Barton, *Moneses uniflora* (L.) A. Gray, *Pyrola chlorantha* Sw., *P. media* Sw., *P. rotundifolia* L., *Linnaea borealis* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Artemisia latifolia* Ledeb., *Carex montana* L., *C. digitate* L., *Galium boreale* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Misch., *Seseli krylovii* (V. Tichomirov)

M. Pimen. et Sdobnina, *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter, *Goodyera repens* (L.) R. Br., *Viola mirabilis* L. и др. В моховом покрове доминируют *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Rhytidiadelphus triquertus* (Hedw.) Warnst., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr, *Hylocomnium splendens* (Hedw.) Bruch et al. [3]. Синузиями мхов занято от 50 до 100% поверхности почвы (среднее покрытие 70—80%).

На горелых ПП кустарниковый ярус разрежен. С обилием sp встречаются *C. ruthenicus*, *R. idaeus*, *S. aucuparia*. ТКЯ фрагментарный с покрытием 15—30%. Повсеместно доминируют с обилием сор<sub>1</sub>-sp *C. arundinacea*. С обилием sol представлены *R. saxatilis*, *V. vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *B. pinnatum*, *Viola canina* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Trifolium medium* L., *Fragaria vesca* L., *G. boreale* и др. В первые годы после пожара обилие *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. и *Conyza canadensis* (L.) Cronquist. может достигать сор<sub>1</sub>-sp, но с увеличением времени после пожара их обилие и встречаемость уменьшаются. На начальных этапах постпирогенной сукцессии моховой покров формируется видами рода *Polytrichum* с покрытием 5—10%.

На давно горелых ПП вблизи КМК преобладают производные сосновые леса с примесью березы (*Betula pendula* или *B. pubescens* Ehrh.). Зеленомошные ассоциации полностью деградированы в связи с исчезновением эпигейных мхов. На давно горелых ПП из кустарников с высоким постоянством и обилием sp встречается *C. ruthenicus*, с обилием sol-ун произрастает *Rosa majalis* Herrm., *R. idaeus*, *Salix caprea* L. ТКЯ, покрытие которого варьирует от 20 до 30%, с обилием sp-sol представлен *V. myrtillus* и *C. arundinacea*. Часто, но с низким обилием встречаются *V. vitis-idaea*, *R. saxatilis*, *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC., *Lathyrus pisiformis* L., *L. vernus*, *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Orthilia secunda* (L.) House, *Sanguisorba officinalis* L., *Vicia cracca* L., *Vicia sylvatica* L., виды *Pyrola* и др.

На горелых ПП вблизи КМК кустарниковый ярус разрежен. С обилием un отмечены *C. ruthenicus* и *C. melanocarpus*. ТКЯ сильно изрежен, имеет неравномерное пятнистое сложение, проективное покрытие в среднем 15—20%. Видовой состав ТКЯ беден. В основном он сложен редкими особями *C. arundinacea*, *C. angustifolium*, *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *R. saxatilis*, *Lupinaster pentaphyllus* Moench, видов р. *Vicia* и др.

$\alpha$ -разнообразии или общее число видов ТКЯ на ПП в связи с уровнем загрязнения и давностью пожара изменяется незначимо:  $F_{\text{загрязнение}}(1, 15) = 4.03$ ,  $P = 0.0631$ ;  $F_{\text{пожар}}(1, 15) = 1.80$ ,  $P = 0.1992$ ;  $F_{\text{загрязнение} \times \text{пожар}}(1, 15) = 1.90$ ,  $P = 0.1879$ . В разных условиях богатство ТКЯ варьирует от 15 до 50 видов на ПП. Вблизи медеплавильного комбината среднее богатство ТКЯ в связи с давностью пожара совсем не различается, но в отсутствие техногенного загрязнения проявляется тенденция повышенного числа видов ТКЯ на давно горелых ПП по сравнению с горелыми (рис. 2 а).

Проективное покрытие ТКЯ значимо варьирует в связи с уровнем загрязнения, но незначимо — в связи с давностью пожара:  $F_{\text{загрязнение}}(1, 15) = 19.19$ ,  $P = 0.0005$ ;  $F_{\text{пожар}}(1, 15) = 1.32$ ,  $P = 0.2684$ ;  $F_{\text{загрязнение} \times \text{пожар}}(1, 15) = 0.90$ ,  $P = 0.3571$ . В сосновых лесах ИГЗ покрытие ТКЯ варьирует от 35 до 75%, а вблизи комбината — от 3 до 35%. Судя по данным, представленным на рис. 2 б, в отсутствие техногенного загрязнения обилие растений травяно-кустарничкового яруса несколько выше в фоновых сообществах по сравнению с горелыми, но эту закономерность не следует обсуждать как статистически значимую, так как в ANOVA незначимы эффекты как для фактора «пожар», так и для взаимодействия факторов «загрязнение» и «пожар».



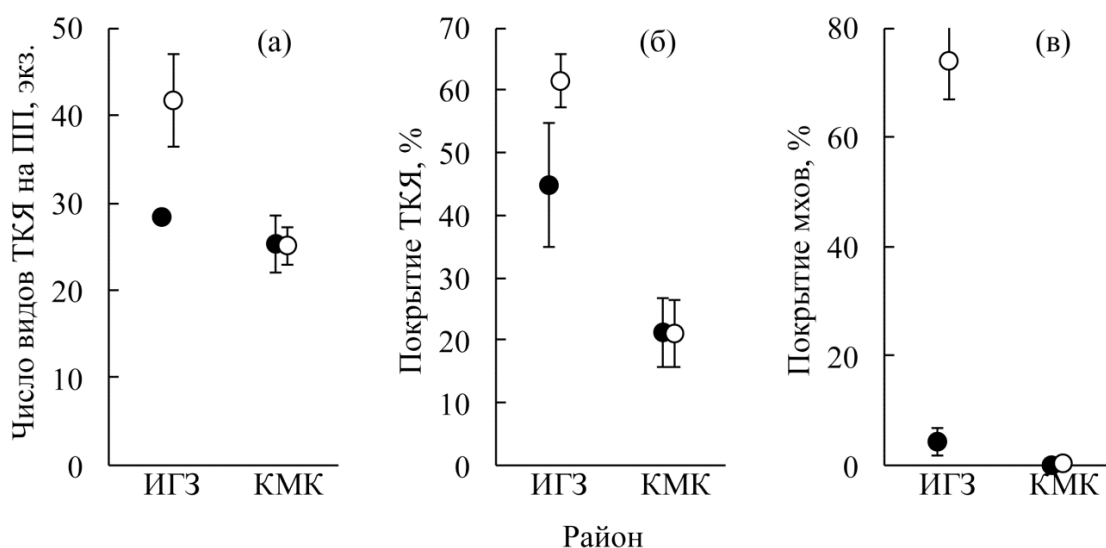


Рис. 2. Богатство (а) и обилие (б) травяно-кустарничкового яруса и обилие мохового яруса (в) в условиях фонового (ИГЗ, Ильменский заповедник) и сильного (КМК, Карабашский медеплавильный комбинат) техногенного воздействия в недавно (●) и давно (○) горелых сосновых лесах. Вертикальные линии — ошибка средней арифметической

Проективное покрытие мохового яруса значительно варьирует и в связи с уровнем загрязнения и в связи с давностью пожара:  $F_{\text{загрязнение}}(1, 15) = 81.44, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{пожар}}(1, 15) = 44.67, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{загрязнение} \times \text{пожар}}(1, 15) = 40.91, P < 0.0001$ . В фоновых сообществах ИГЗ закономерно отмечается самое высокое обилие мохового яруса — 45—95%. И пожары, и техногенное загрязнение приводят к снижению обилия напочвенных мхов. Вблизи КМК эпигейные мхи встречаются единично.

Таким образом, видовое богатство и обилие ТКЯ, а также обилие мохового яруса выражено уменьшаются, во-первых, в районе влияния выбросов КМК по сравнению с охраняемыми лесами ИГЗ и, во-вторых, на площадях с давностью низовых пожаров 7—14 лет по сравнению с площадями с давностью пожаров 23—48 лет.

С низовыми пожарами и промышленным загрязнением связано 53—96% общей изменчивости состояния травяно-кустарничкового и мохового ярусов (рис. 3). Полнее всего учтенными факторами объясняется изменчивость обилия мохового яруса, в наименьшей степени — разнообразие сосудистых растений. Наибольший вклад в изменение состояния ТКЯ и яруса мхов — 41—72% объясняемой дисперсии — вносит фактор промышленного загрязнения. С низовыми пожарами сопряжено 9—28% объясняемой дисперсии этих признаков. Таким образом, ведущий фактор состояния растительного компонента живого напочвенного покрова сосновых лесов в рассматриваемом регионе — промышленное загрязнение. Сила эффектов, связанных с низовыми пожарами, в 3—7 раз меньше.

### Обсуждение

По нашим оценкам, состояние живого напочвенного покрова в изученном регионе преимущественно определяется принадлежностью лесного участка к нарушенной (КМК) или ненарушенной (ИГЗ) территории. Эффекты, связанные с пожарами, выражены в заповедных лесах и почти совсем не выражены в условиях сильного промышленного загрязнения. В отсутствие загрязнения удалось с разной степенью статистической значимости, но все же наблюдать свидетельства различий состояния параметров  $\alpha$ -разнообразия ТКЯ, а также обилия травяно-кустарничкового и моховых ярусов на ПП с разной давностью пожарного нарушения (см. рис. 2).

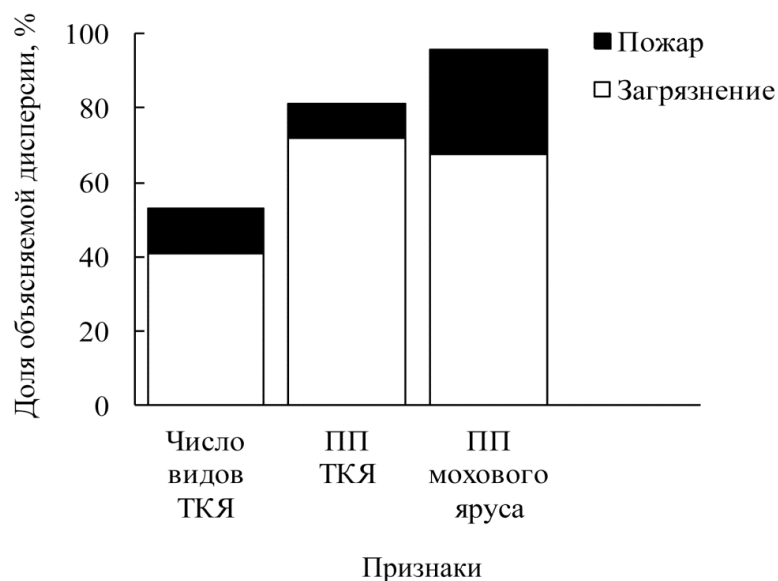


Рис. 3. Доли дисперсии признаков состояния живого напочвенного покрова, связанные с факторами загрязнения и низовых пожаров в регионе ИГЗ—КМК. Разность между высотой столбиков и 100% — необъясненная дисперсия

Вблизи КМК все характеристики живого напочвенного покрова, независимо от того как давно горели леса, не различаются. Другими словами, мы не установили синергетического или аддитивного взаимодействия между факторами техногенного загрязнения и пирогенных воздействий в районе, подверженном выбросам КМК.

Наш результат предположительно можно объяснить следующим образом. Последствия сильного промышленного загрязнения в лесах вблизи КМК, выражающиеся в накоплении в лесных подстилках и почвах высоких концентраций тяжелых металлов (что многократно показано [6; 7; 13]), приводят к такой сильной пессимизации условий развития живого напочвенного покрова, что дополнительное нарушающее воздействие пожаров не сопровождается усилением степени угнетения живого напочвенного покрова.

Это предположение нуждается в проверке и обосновании конкретных действующих механизмов, но оно согласуется с общими представлениями, в соответствии с которыми огонь — естественный фактор формирования растительности светлохвойных лесов, а загрязнение тяжелыми металлами — не естественный. Поэтому отчасти понятно, почему пожары вызывают в структуре живого напочвенного покрова менее заметные перестройки, чем воздействия, обусловленные наблюдающимися вблизи КМК уровнями депонирования тяжелых металлов. К периодическим воздействиям пожаров растения сосновых лесов адаптированы хорошо, а к эффектам, обусловленным накоплением тяжелых металлов, — хуже.

**Заключение.** Из двух типов нарушений — техногенного загрязнения тяжелыми металлами и пирогенных воздействий — ведущее значение для состояния живого напочвенного покрова зеленомошных сосновых лесов изученного региона, включающего окрестности Карабашского медеплавильного завода и Ильменский заповедник, имеет фактор техногенного загрязнения. Эффекты, связанные с воздействием пожаров, проявляются только в отсутствие техногенного загрязнения, т.е. только в зеленомошных сосняках на территории заповедника. Здесь следствием низовых пожаров ожидаемо является снижение  $\alpha$ -разнообразия и обилия травяно-кустарничкового и мохового ярусов. Вблизи Карабашского медеплавильного комбината при высоком уровне техногенного загрязнения экосистем синергетического или аддитивного взаимодействия между факторами

техногенного загрязнения и пирогенных воздействий не установлено. Влияние пожаров на фоне выраженного техногенного воздействия не приводит к дополнительному угнетению травяно-кустарничкового и мохового ярусов.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Уральского отделения РАН (проект 15-12-5-31).

#### Список использованной литературы

1. Горшков В. В. Изменение видового разнообразия напочвенных лишайников под действием загрязнения в зависимости от давности пожара // Доклады Академии наук. 1994. Т. 334, № 5. С. 665—668.
2. Ерохина О. В. Биологическое разнообразие растительного покрова южной части Ильменских гор и предгорий. Екатеринбург : Форт-Диалог, 2007. 52 с.
3. Исакова Н. А. Видовое и синузильное разнообразие листостебельных мхов восточного склона Ильменских гор / отв. ред. П. Л. Горчаковский. Миасс ; Екатеринбург : ИГЗ УрО РАН, 2009. 128 с.
4. Казанцева М. Н. Экологические последствия пожаров и нефтяного загрязнения в таежных лесах Среднего Приобья // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128, № 1. С. 108—112.
5. Комплексный доклад о состоянии окружающей природной среды Челябинской области в 2008 году / М-во по радиационной и экологической безопасности Челяб. обл. ; под общ. ред. Г. Н. Подтесова. Челябинск, 2009.
6. Коротеева Е. В., Веселкин Д. В., Куянцова Н. Б., Мумбер А. Г. Накопление тяжелых металлов в разных органах березы повислой возле Карабашского медеплавильного комбината // Агрохимия. 2015. № 3. С. 88—96.
7. Коротеева Е. В., Веселкин Д. В., Куянцова Н. Б., Чащина О. Е. Подход к зонированию нарушенных территорий на основе содержания тяжелых металлов в органах сосны обыкновенной (на примере региона Карабашского медеплавильного комбината) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2015. № 3. С. 86—93.
8. Меншиков С. Л., Барановский В. В., Кузьмина Н. А. Плотность подроста сосны обыкновенной после низовых пожаров в зоне аэротехногенного загрязнения // Экология. 2013. № 5. С. 330—333.
9. Полевая геоботаника. Т. 3. М. ; Л. : Наука, 1964. 530 с.
10. Чибилев А. А., Веселкин Д. В., Куянцова Н. Б., Чащина О. Е., Дубинин А. Е. Динамика лесных пожаров и климата Ильменского заповедника в 1948—2013 гг. // Доклады Академии наук. 2016. Т. 468, № 5. С. 575—578.
11. Derome J., Lukina N. Interaction between environmental pollution and land-cover/land-use change in Arctic areas // Eurasian arctic land cover and land use in a changing climate. Eds.: Gutman G., Reissel A. Dordrecht : Springer, 2011. P. 269—289. DOI: 10.1007/978-90-481-9118-5\_11.
12. Harris T. B., Rajakaruna N., Nelson S. J., Vaux P. D. Stressors and threats to the flora of Acadia National Park, Maine: Current knowledge, information gaps, and future directions // J. Torrey Bot. Soc. 2012. Vol. 139, N. 3. P. 323—344.
13. Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. Impacts of point pollutants on terrestrial biota. Dordrecht ; Heidelberg ; London ; New-York : Springer, 2009. 466 p.
14. Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. Experimental studies on *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* in relation to air pollution and global change at northern high latitudes: A review // Environ. Exper. Bot. 2013. Vol. 87. P. 191—196.

Поступила в редакцию 25.10.2017

**Чащина Ольга Евгеньевна**, кандидат биологических наук  
Ильменский государственный заповедник  
Российская Федерация, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
E-mail: korablik@mineralogy.ru

**Куянцова Надежда Борисовна**, кандидат биологических наук  
Ильменский государственный заповедник  
Российская Федерация, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
E-mail: borisovna\_k@mail.ru



**Мумбер Александр Геннадьевич**, младший научный сотрудник  
Ильменский государственный заповедник  
Российская Федерация, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
E-mail: [silver@mineralogy.ru](mailto:silver@mineralogy.ru)

**Потапкин Андрей Борисович**, ведущий инженер  
Ильменский государственный заповедник  
Российская Федерация, 456317, г. Миасс, Ильменский заповедник  
E-mail: [silver@mineralogy.ru](mailto:silver@mineralogy.ru)

**Весёлкин Денис Васильевич**, доктор биологических наук, профессор  
Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук  
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202  
E-mail: [denis\\_v@ipae.uran.ru](mailto:denis_v@ipae.uran.ru)

UDC 574.4+502.5

**O. E. Chashchina**

**N. B. Kuyantseva**

**A. G. Mumber**

**A. B. Potapkin**

**D. V. Veselkin**

### **Ground vegetation of the pine forest affected by forest fires in the gradient of emissions of the Karabash Copper Smelter**

The authors compared the significance of two factors of the condition of ground vegetation: industrial pollution and ground forest fires. For that reason the  $\alpha$ -diversity and the abundance of the grass-shrub and moss layer were estimated at 19 constant sites in pine forests of the Southern Urals. 11 sites were located near the Karabash Copper Smelter and 8 ones in the areas of Ilmen State Nature Reserve. All sites were grouped into two groups based on the fire damage features: damage by ground forest fires (burnt 7—14 years ago) and not damaged for a long time (burnt 23—48 years ago). Industrial pollution was established as the main cause for the variability in the condition of ground vegetation. It entails 41—72% of variance in the studied characteristics of ground vegetation. The variability of the condition of grass-shrub and moss layer associated with fire damage is 3—7 times less.

**Key words:** industrial contamination, ground forest fires, pine forests, ground vegetation, diversity of species, abundance, the Southern Urals, Ilmen State Nature Reserve, Karabash Copper Smelter.

**Chashchina Olga Evgenievna**, Candidate of Biological Sciences  
Ilmen State Nature Reserve  
Russian Federation, 456317, Miass, Ilmenskii zapovednik  
E-mail: [korablik@mineralogy.ru](mailto:korablik@mineralogy.ru)

**Kuyantseva Nadezhda Borisovna**, Candidate of Biological Sciences  
Ilmen State Nature Reserve  
Russian Federation, 456317, Miass, Ilmenskii zapovednik  
E-mail: [borisovna\\_k@mail.ru](mailto:borisovna_k@mail.ru)

**Mumber Aleksandr Gennadievich**, Junior researcher  
Ilmen State Nature Reserve  
Russian Federation, 456317, Miass, Ilmenskii zapovednik  
E-mail: [silver@mineralogy.ru](mailto:silver@mineralogy.ru)

**Potapkin Andrei Borisovich**, Leading engineer  
Ilmen State Nature Reserve

Russian Federation, 456317, Miass, Ilmenskii zapovednik  
E-mail: silver@mineralogy.ru

**Veselkin Denis Vasilievich**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor  
Plant & Animal Ecology Institute of Ural Division of the Russian Academy of Science  
Russian Federation, 620144, Ekaterinburg, ul. 8 Marta, 202  
E-mail: denis\_v@ipac.uran.ru

## References

1. Gorshkov V. V. Izmenenie vidovogo raznoobraziya napochvennykh lichainikov pod deistviem zagryazneniya v zavisimosti ot davnosti pozhara [Change in species diversity of ground lichens under the influence of pollution, depending on the duration of the fire]. *Doklady Akademii nauk*, 1994, vol. 334, no. 5, pp. 665—668. (In Russian)
2. Erokhina O. V. *Biologicheskoe raznoobrazie rastitel'nogo pokrova yuzhnoi chasti Il'menskikh gor i predgorii* [Biological diversity of vegetation cover in the southern part of the Ilmen Mountains and foothills]. Ekaterinburg, Fort-Dialog Publ., 2007. 52 p. (In Russian)
3. Isakova N. A. *Vidovoe i sinuzial'noe raznoobrazie listostebel'nykh mkhov vostochnogo sklona Il'menskikh gor* [Species and sinusoidal diversity of leafy mosses on the eastern slope of the Ilmen Mountains]. Miass, Ekaterinburg, IGZ UrO RAN Publ., 2009. 128 p. (In Russian)
4. Kazantseva M. N. *Ekologicheskie posledstviya pozharov i nefryanogo zagryazneniya v taehnykh lesakh Srednego Priob'ya* [Ecological consequences of fires and oil pollution in the taiga forests of the Middle Ob region]. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2008, vol. 128, no. 1, pp. 108—112. (In Russian)
5. *Kompleksnyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Chelyabinskoi oblasti v 2008 godu* [Comprehensive report on the state of the environment of the Chelyabinsk region in 2008]. Chelyabinsk, 2009. (In Russian)
6. Koroteeva E. V., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Mumber A. G. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v raznykh organakh berezy povisloi voze Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata* [Accumulation of heavy metals in various birch parts near the Karabash copper smelter]. *Agrokimiya*, 2015, no. 3, pp. 88—96. (In Russian)
7. Koroteeva E. V., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Chashchina O. E. *Podkhod k zonirovaniyu narushennykh territorii na osnove sodержaniya tyazhelykh metallov v organakh sosny obyknovnoy (na primere regiona Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata)* [The approach to the zoning of disturbed territories on the basis of the heavy metal content in the body of Scotch pine (by the example of the Karabash copper smelter)]. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*, 2015, no. 3, pp. 86—93. (In Russian)
8. Menshchikov S. L., Baranovskii V. V., Kuz'mina N. A. *Plotnost' podrosta sosny obyknovnoy posle nizovykh pozharov v zone aerotekhnogennogo zagryazneniya* [Density of *Pinus sylvestris* after fires in the zone of aerotechnogenic contamination]. *Ekologiya*, 2013, no. 5, pp. 330—333. (In Russian)
9. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Vol. 3. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964. 530 p. (In Russian)
10. Chibilev A. A., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Chashchina O. E., Dubinin A. E. *Dinamika lesnykh pozharov i klimata Il'menskogo zapovednika v 1948—2013 gg.* [Dynamics of forest fires and climate of the Ilmen Reserve in 1948—2013]. *Doklady Akademii nauk*, 2016, vol. 468, no. 5, pp. 575—578. (In Russian)
11. Derome J., Lukina N. *Interaction between environmental pollution and land-cover/land-use change in Arctic areas. Eurasian arctic land cover and land use in a changing climate*. Eds.: Gutman G., Reissel A. Dordrecht, Springer, 2011, pp. 269—289. DOI: 10.1007/978-90-481-9118-5\_11.
12. Harris T. B., Rajakaruna N., Nelson S. J., Vaux P. D. *Stressors and threats to the flora of Acadia National Park, Maine: Current knowledge, information gaps, and future directions*. *J. Torrey Bot. Soc.*, 2012, vol. 139, no. 3, pp. 323—344.
13. Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. *Impacts of point polluters on terrestrial biota*. Dordrecht, Heidelberg, London, New-York, Springer, 2009. 466 p.
14. Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. *Experimental studies on *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitisidaea* in relation to air pollution and global change at northern high latitudes: A review*. *Environ. Exper. Bot.*, 2013, vol. 87, pp. 191—196.