

УДК 630*43:630*114

ВЛИЯНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫЖИГАНИЯ ШЕЛКОПРЯДНИКОВ НА СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В НИЖНЕМ ПРИАНГАРЬЕ*

© 2005 г. Ю. Н. Краснощеков, Э. Н. Валендик, И. Н. Безкоровайная,
С. В. Верховец, Е. К. Кисильхов, В. В. Кузьмиченко

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

660036 Красноярск, Академгородок

Поступила в редакцию 07.06.2004 г.

Рассмотрены материалы исследований послепожарной динамики свойств дерново-подзолистых почв в очагах массового размножения сибирского шелкопряда в южной тайге Нижнего Приангарья. Установлено, что при выжигании шелкопряда в травяно-зеленомошном пихтарнике потеря углерода лесной подстилкой составляет около 75%, азота около 50%. Одновременно происходит увеличение валового калия и фосфора в 3.2 раза, а подвижных их форм - в 4.3 и 12.3 раза соответственно. Отмечено положительное влияние огня на физико-химические свойства почв в первые два месяца после пожара. Показано, что после пожара существенная трансформация биологических процессов наблюдается в органогенном горизонте, здесь же снижается плотность микроартропод, а население клещей сокращается в сотни раз.

Шелкопрядники, контролируемое выжигание, свойства почв, лесная подстилка, лизиметрические воды, почвенная микрофауна, биологическая активность почв.

В южнотаежной подзоне Приенисейской Сибири вспышки массового размножения сибирского шелкопряда приводят к гибели хвойных лесов. За период с 1878 по 1997 г. на территории Красноярского края произошло девять вспышек численности, во время последней, 1989-1997 гг., шелкопрядом дефолировано около 1 млн. га темнохвойных лесов [23].

Отмечено, что лесовосстановление коренных хвойных пород на участках леса, поврежденных сибирским шелкопрядом, затягивается на 150-200 лет. В большинстве случаев эти лесные площади переходят в категории редин и пустырей, реже на них формируются низкополнотные древостой березы и осины с обильным травянистым покровом [10, 21].

При обследовании шелкопрядников возрастом 6-8 лет в Усольском лесхозе Красноярского края выявлено, что усохший древостой остается на корню с запасом $130-180 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, захламленность валежником при этом составляет $40-60 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Бурно развивается травостой высотой до 40 см с преобладанием злаков и кустарники. Сильное задержание почвы и отсутствие плодоносящих деревьев являются причинами задержки естественно-восстановления пихтовых лесов.

Таким образом, участки тайги, поврежденные сибирским шелкопрядом, превращаются в склад сухой древесины с густой травянисто-кустарниковой растительностью. Это стимулирует возникновение частых и очень интенсивных пожаров, охватывающих обширные пространства.

Снижение пожарной опасности на этих участках леса и лесовосстановление на них связаны прежде всего с очисткой территории от мертвого древостоя и больших запасов лесных горючих материалов (ЛГМ). Наиболее эффективным и экономически целесообразным средством ликвидации шелкопрядников является их выжигание. Однако следует отметить, что лесные пожары оказывают существенное влияние на лесные биогеоценозы в целом и определенным образом на почвы, которые претерпевают изменения как в общем морфологическом облике, так и в физико-химических и биологических свойствах. Изменение свойств почв после пожаров обусловлено действием высоких температур и одновременным поступлением на поверхность почвы золы от сгорания подстилки и других горючих материалов.

Целью данной работы является изучение послепожарной трансформации химических, физико-химических, биохимических и биологических свойств дерново-подзолистых почв на участках пихтового леса, дефолированного сибирским шелкопрядом в Нижнем Приангарье. Большин-

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (01-04-49672) и Российско-Американского проекта 0053 (соглашение № 25-998-А4).

Таблица 1. Полнота сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ) при контролируемом выжигании, %

| Интенсивность вывала сухостоя, % | Подстилка | Мхи | Травы | Фракции сухих ЛГМ (ветки, сучья) диаметром, см | | | | Всего ЛГМ |
|----------------------------------|-----------|-----|-------|--|---------|---------|------|-----------|
| | | | | <0.7 | 0.7-2.5 | 2.5-7.5 | >7.5 | |
| <30 | 20 | 70 | 64 | 70 | 49 | 30 | 18 | 31 |
| 30-60 | 35 | 85 | 87 | 83 | 68 | 52 | 36 | 53 |
| >60 | 80 | 100 | 100 | 100 | 98 | 85 | 72 | 84 |

ство публикаций по Сибири посвящено исследованиям изменений свойств почв и их послепожарной динамике под воздействием естественных пожаров [13, 14, 18]. Нам неизвестны работы по послепожарной трансформации почв шелкопрядников.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами исследования являются дерново-глубокоподзолистые тяжелосуглинистые почвы под пологом пихтарника травяно-зеленомошного, состав 7П2Б1К, полнота 0,7, возраст 150-160 лет (опытный участок (оп. уч.) 1 - контроль), на участке леса, полностью засохшего вследствие дефолиации сибирским шелкопрядом в 1996 г., в таком же типе леса (оп. уч. 2) и на участке после контролируемого выжигания шелкопрядника площадью 6,2 га (оп. уч. 3). Контролируемое выжигание - это направленное использование огня для различных лесохозяйственных целей, в первую очередь для снижения пожарной опасности и содействия естественному и искусственному лесовосстановлению в лесах, шелкопрядниках и на вырубках. Технология контролируемого выжигания опубликована [8]. Вывал сухостоя и прокладка защитной минерализованной полосы по периметру шелкопрядника проведены в начале сентября 2001 г., лесопожарным агрегатом АПЛ-55, контролируемое выжигание - в июне 2002 г. Оп. уч. 4 представляет 10-летнюю гарь шелкопрядника, полностью заросшую травянисто-кустарниковой растительностью.

При проведении исследований использовались следующие методики: учет видового состава и биомассы наземных растений; определение зольного состава растительного покрова и лесной подстилки по Л.Е. Родину с соавт. [15] и физико-химических и химических свойств почв по Е.В. Аринушкиной [2]. Учет мелких членистоногих в подстилке и почве проводили в образцах, отобранных с применением кольца ($d = 5$ см) с последующей отгонкой с помощью экстракторов [4]. Потенциальную активность ферментов почв оценивали методами, рекомендованными Ф.Х. Хазиевым [22]. Продуцирование CO_2 определяли адсорбционным методом, целлюлозоразрушающую способность - аппликационным методом в оптимальных условиях тем-

пературы (+28°C) и влажности (60% от полной влагоемкости почвы) [11, 12]. Для исследования лизиметрических вод использованы лизиметры конструкции Е.И. Шиловой [17]. Лизиметры были установлены под горизонтом лесной подстилки (на контроле и в шелкопряднике), а на участке контролируемого выжигания - под горизонтом Орг. Отбор растворов из бутылей проведен в конце августа, спустя два месяца после начала опыта.

Материалы, обсуждаемые в работе, касаются краткосрочных (в первые два месяца после пожара) воздействий контролируемого выжигания шелкопрядника на свойства почв. Это позволяет качественно и количественно оценить изменения их лесорастительных свойств.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для объективной экологической оценки восстановления коренных пород на участках контролируемого выжигания шелкопрядников необходимы количественные данные, характеризующие нарушения и изменения свойств почв и их послепожарную динамику. Специфика почвообразования в виде усиления дернового процесса в почвах под шелкопрядниками определяет интенсивность и продолжительность пирогеиза и степень его влияния на изменения свойств почв. Послепожарное формирование почв непосредственно связано с пирогенной трансформацией органогенных горизонтов, и степень их вариабильности служит индикатором воздействия пожара на почву.

В табл. 1 приведены данные исследований полноты сгорания ЛГМ при контролируемом выжигании. Наибольшая полнота сгорания отмечается для фракции диаметром меньше 0,7 см (ветки, сучья) при вывале более 60% сухих деревьев. Мощность подстилки на опытном участке до пожара составила в среднем 1 см. При интенсивности вывала сухостоя более 60% на 80% площади наблюдается полное сгорание подстилки. В результате интенсивного пожара на поверхности почвы образовался новый специфический органогенный пирогенный горизонт (Орг), состоящий из обугленных, несгоревших полностью остатков лесной подстилки и золы мощностью 1-1,5 см.

Одним из основных источников поступления органического вещества и зольных элементов в

Таблица 2. Валовое содержание углерода, азота и зольных элементов в лесной подстилке опытных участков

| Эле- мент | Оп. уч. 1 | | Оп. уч. 2 | | Оп. уч. 3 | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | июнь | август | июнь | август | июнь | август |
| C | <u>46.0</u> 5060.0 | <u>45.7</u> 5027.0 | <u>43.8</u> 3109.6 | <u>42.3</u> 3003.3 | <u>25.5</u> 757.3 | <u>23.9</u> 709.8 |
| N | <u>1.454</u> 159.9 | <u>1.384</u> 152.2 | <u>1.596</u> 113.3 | <u>1.500</u> 106.5 | <u>1.962</u> 58.3 | <u>1.428</u> 42.4 |
| Ca | <u>1.01</u> 111.1 | <u>0.97</u> 106.7 | <u>2.44</u> 173.2 | <u>1.73</u> 122.8 | <u>7.57</u> 224.8 | <u>6.65</u> 197.5 |
| Mg | <u>0.23</u> 25.5 | <u>0.22</u> 24.2 | <u>0.24</u> 17.0 | <u>0.22</u> 15.6 | <u>1.10</u> 32.7 | <u>0.78</u> 23.1 |
| K | <u>0.52</u> 57.2 | <u>0.33</u> 36.3 | <u>0.36</u> 46.9 | <u>0.34</u> 24.1 | <u>1.22</u> 36.4 | <u>0.58</u> 17.2 |
| Na | <u>0.017</u> 1.9 | <u>0.003</u> 0.3 | <u>0.01</u> 0.8 | <u>0.009</u> 0.6 | <u>0.037</u> 1.1 | <u>0.019</u> 0.6 |
| Fe | <u>0.045</u> 4.9 | <u>0.090</u> 9.9 | <u>0.115</u> 8.2 | <u>0.125</u> 8.9 | <u>0.209</u> 6.2 | <u>0.157</u> 4.7 |
| Al | <u>0.02</u> 2.2 | <u>0.02</u> 2.2 | <u>0.06</u> 4.3 | <u>0.09</u> 6.4 | <u>0.074</u> 2.2 | <u>0.064</u> 1.9 |
| Mn | <u>0.024</u> 2.6 | <u>0.054</u> 5.9 | <u>0.075</u> 5.3 | <u>0.104</u> 7.4 | <u>0.097</u> 2.9 | <u>0.094</u> 2.8 |
| P | <u>0.255</u> 28.1 | <u>0.193</u> 21.2 | <u>0.192</u> 13.6 | <u>0.180</u> 12.8 | <u>0.551</u> 16.4 | <u>0.204</u> 6.1 |
| Зольность, % | 5.51 | 7.34 | 11.49 | 12.47 | 53.91 | 48.49 |

Примечание. В числителе - % на сухое вещество, в знаменателе - кг га⁻¹.

почву является лесная подстилка. Известна широкая изменчивость запасов подстилки и ее химического состава, обусловленная типологическим разнообразием насаждений, структурой древостоев, различиями физико-географических условий среды [6, 7]. Под влиянием лесных пожаров, особенно низовых, происходит частичное или полное сгорание подстилки, что в дальнейшем влияет на свойства почв и особенно их верхних горизонтов.

В Нижнем Приангарье подстилка травяно-зеленомошных пихтарников характеризуются более низкой зольностью, чем подстилки, формирующиеся в шелкопрядниках (табл. 2). В целом подстилка в исследуемых пихтовых насаждениях и шелкопрядниках отличается низким содержанием зольных элементов. Однако наблюдаются различия в содержании элементов в зависимости от направленности сукцессионных процессов. Так, подстилка разнотравных шелкопрядников, несмотря на то, что по концентрации ряда химичес-

ких элементов (в процентах от сухого вещества) она близка к подстилке пихтарников, по запасу значительно отличается. Это связано главным образом с уменьшением мощности и изменением фракционного состава подстилки в шелкопрядниках. Здесь в подстилке накапливается Ca, Fe, Al и Mn, в то же время происходит уменьшение Mg, K, P и Na. Подстилка 10-летних гарей, покрытая травянистой растительностью, обогащена Ca, Mg, P. Содержание K, Na, Mn, Fe, Al значительно уменьшено по сравнению с подстилками как шелкопрядников, так и пихтовых насаждений.

Таким образом, число зольных элементов в подстилках старых шелкопрядников и гарей зависит главным образом от направленности сукцессий живого напочвенного покрова, продукты разложения которых существенно изменяют химический состав подстилок и повышают их зольность.

В процессе горения лесной подстилки часть углерода и азота улетучивается в атмосферу. Установлено, что при выжигании шелкопрядника потеря углерода из лесной подстилки составляет 2352.3 кг га⁻¹, или 75.7%, а азота - 55.0 кг га⁻¹, или 49.6% (табл. 2). Это вполне согласуется с данными многих исследователей. Так, А.И. Уткин [19] отмечал, что воздействие пожаров на лесорастительные свойства почв в первую очередь выражается в потере гумуса (углерода) и азота. По его расчетам, при полном выгорании лесной подстилки потеря азота может достигать 200-400 кг га⁻¹. Подобное уменьшение азота и органического углерода на свежих гарях в Приангарье отмечали В.Н. Горбачев с соавт. [3], а в Центральной Якутии - В.Г. Тарабукина и Д.Д. Саввинов [18].

При сгорании подстилки и живого напочвенного покрова происходит высвобождение большого числа зольных элементов. После выжигания шелкопрядника отмечено увеличение концентрации в горизонте Орг зольных элементов: Ca - в 3.1; Mg - в 4.5; Fe - в 1.8; Al - в 1.2; K - в 3.4; Na - в 3.7 и P - в 2.9 раза.

Анализ лизиметрических вод, собранных через 2 мес. после выжигания шелкопрядника, показал, что из горизонта Орг на гари вынесено (кг га⁻¹): C - 31.4, N - 3.3, Ca - 15.6, Mg - 4.2, K - 17.0, Na - 0.4. В то же время вынос этих элементов из подстилки как в шелкопряднике, так и под пологом леса менее значителен. Кислая реакция среды отмечена в растворах, фильтрующихся через подстилку под пологом леса (рН = 5.1). В шелкопряднике рН равен 7.5, в то же время на гари рН растворов составляет 8.0 (табл. 3).

Приведенные экспериментальные данные показывают, что если в подстилке под пологом леса запас общего углерода в июне был равен 5060 кг га⁻¹, то через 2 мес. он составил 5027 кг га⁻¹. Потеря составила 33 кг га⁻¹, или 0.62% от общего

Таблица 3. Химический состав лизиметрических вод

| Оп. уч. | pH | C | N | Анионы | | | Катионы | | | | Прокаленный остаток, % |
|---------|-----|--------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------------|
| | | | | НСО ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | |
| 1 | 5.1 | <u>120.0</u> | <u>4.48</u> | <u>16.49</u> | <u>35.52</u> | <u>070</u> | <u>0.23</u> | <u>68.82</u> | <u>1.46</u> | <u>16.44</u> | 0.0246 |
| | | 15.3 | 0.6 | 2.1 | 4.5 | 0.09 | 0.03 | 8.8 | 2.1 | 2.1 | |
| 2 | 7.5 | <u>270.0</u> | <u>26.88</u> | <u>52.46</u> | <u>233.3</u> | <u>18.82</u> | <u>1.29</u> | <u>60.21</u> | <u>16.28</u> | <u>65.76</u> | 0.0326 |
| | | 22.1 | 3.1 | 3.4 | 15.3 | 12 | 0.1 | 12.3 | 0.4 | 5.9 | |
| 3 | 8.0 | <u>310.0</u> | <u>26.32</u> | <u>78.08</u> | <u>744.4</u> | <u>16.33</u> | <u>3.91</u> | <u>134.5</u> | <u>49.33</u> | <u>123.5</u> | 0.0610 |
| | | 31.4 | 3.3 | 9.7 | 94.3 | 2.1 | 0.4 | 17.0 | 4.2 | 15.6 | |

Примечание. В числителе - мг л⁻¹, в знаменателе - кг га⁻¹.

запаса углерода. Вынос в водорастворимой форме за это время равен около 30% от общего, или 46.4% от потерянного углерода. В подстилке шелкопряда на водорастворимый углерод приходится 0.71% от общего, или 20.7% от потерянного. За 2 мес. на гари потеря углерода составила 47.5 кг га⁻¹. На водорастворимый углерод приходится 4.2% от общего, или 66.1% от потерянного. Увеличение водорастворимого углерода на гари связано с резким возрастанием в растворе аниона

НСО₃⁻ в результате интенсивного процесса окисления органического вещества с образованием при этом солей щелочных и щелочноземельных элементов. Следует отметить, что по химическому составу лизиметрические воды на гари относятся к гидрокарбонатно-сульфатному типу. Отношение Cl⁻ - Na⁺/Mg⁺⁺ [5] показывает, что в составе солей имеются Ca(НСО₃)₂, Mg(НСО₃)₂, NaНСО₃, СаSO₄, MgSO₄, Na₂SO₄, NaCl.

Среди зольных элементов поведение калия заслуживает особого внимания. За два летних месяца его потеря в лесу составила 36.5%, в шелкопряда - 48.6%, на гари - 52.7%. В то же время водорастворимый калий в лесу по объему от потерянного составил 20.9%, в шелкопряда - 53.9%, на гари - 88.5%.

На основании проведенных исследований можно построить следующие ряды выноса некоторых химических элементов в водорастворимой форме из лесной подстилки: под пологом леса - Ca > C > K > Mg > N > Na; под шелкопрядом - K > Na > N > Mg > C > Ca; на гари - K > Na > C > Ca > Mg > N.

Специфической особенностью лизиметрических вод на пожарище является обогащение их твердыми частицами как минерального, органо-минерального, так и органического происхождения. Общее число выноса твердых частиц в воде за 2 мес. составило 31.2-75.0 кг га⁻¹. Миграция веществ, учтенных в твердом стоке, свидетельствует, что вынесено углерода 3.37-4.77 кг га⁻¹, азота

0.33-0.48 кг га⁻¹, кальция 0.33-0.80 кг га⁻¹. Таким образом, при сгорании подстилки и живого почвенного покрова в шелкопрядах происходит высвобождение большого числа зольных элементов, что отражается на химических свойствах почв.

Изменение кислотности верхних горизонтов почв наиболее заметно в год пожара. Пиролиз органики сопровождается сдвигом реакции среды в сторону нейтрализации или подщелачивания почвенных растворов. Так, если в лесу и шелкопряда в подстилках реакция среды слабокислая (pH = 5.7-5.9), то после пожара в поверхностном горизонте Орг она становится сильнощелочной (pH = 8.7). Большая разница в кислотности отмечается только в подстилке, нижние горизонты имеют реакцию, близкую соответствующим горизонтам лесной почвы (табл. 4). Подобная закономерность отмечена и другими исследователями [13, 20]. Через 2 мес. pH среды горизонта Орг стала щелочной (pH = 8.0), и только на гари 10-летней давности реакция почвенной среды в поверхностном органогенном горизонте восстанавливается.

Положительное влияние пожара на почву большинство исследователей видят в увеличении как валовых, так и подвижных соединений фосфора и калия в поверхностных горизонтах. В нашем опыте выжигание шелкопряда привело к увеличению валового калия в 3.2, а подвижного - в 4.3 раза. Вместе с этим наблюдается и увеличение доли обменного калия. Так, если в лесу и шелкопряда подвижный калий составляет 10.7-12.0% от валового, то сразу после пожара его содержание увеличивается до 19.9%, а через два месяца снижается до 17.8%. На 10-летней гари доля подвижного калия от валового составляет 10.2%. Подобная тенденция к увеличению характерна и для фосфора. Содержание валового фосфора после выжигания увеличивается в 3.2, а подвижного - в 12.3 раза. Если в лесу и шелкопряда доля подвижного фосфора составляет 1.5-1.8%, то на

Таблица 4. Содержание валовых и подвижных форм NPK в дерново-глубокоподзолистых тяжелосуглинистых почвах опытных участков

| Горизонт | Глубина, см | pH водн. | Валовые, % | | | Подвижные, мг кг ⁻¹ | | | |
|--|-------------|----------|------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N-NH ₄ | N-NO ₃ | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Оп. уч. 1. Разрез 11-56 | | | | | | | | | |
| O | 0-2 | 5.7 | 1.45 | 0.52 | 0.55 | 154.9 | 21.9 | 76.0 | 589.9 |
| AYEL | 2-10 | 5.3 | 0.19 | 0.14 | 1.17 | 347.0 | 22.3 | 127.0 | 681.1 |
| EL | 10-27 | 5.0 | 0.12 | 0.13 | 1.16 | 19.1 | 1.8 | 32.0 | 217.9 |
| BT | 30-40 | 5.4 | 0.04 | 0.09 | 1.25 | 14.4 | 1.6 | 45.0 | 102.8 |
| BThh | 50-60 | 5.7 | 0.04 | 0.09 | 1.43 | 14.5 | 1.6 | 58.0 | 108.6 |
| C | 80-60 | 5.9 | 0.02 | 0.09 | 1.48 | 11.1 | 1.6 | 82.0 | 95.8 |
| Оп. уч. 2. Разрез 11-55 | | | | | | | | | |
| O | 0-1 | 5.9 | 1.60 | 0.39 | 0.39 | 213.8 | 18.6 | 69.0 | 467.7 |
| AY | 1-14 | 5.5 | 0.58 | 0.19 | 1.21 | 20.3 | 4.3 | 59.0 | 406.5 |
| AYEL | 14-22 | 5.1 | 0.45 | 0.16 | 1.32 | 11.6 | 1.7 | 53.0 | 158.4 |
| ELBT | 25-35 | 5.2 | 0.09 | 0.15 | 1.30 | 8.4 | 1.5 | 46.0 | 84.8 |
| BThh | 35-55 | 5.4 | 0.18 | 0.15 | 1.44 | 10.1 | 1.6 | 42.0 | 93.2 |
| C | 65-75 | 5.8 | 0.01 | 0.09 | 1.53 | 8.2 | 1.5 | 13.0 | 78.2 |
| Оп. уч. 3. Разрез 11-54 | | | | | | | | | |
| Opg | 0-1 | 8.7 | 1.96 | 1.26 | 1.01 | 166.0 | 12.9 | 850.0 | 2016.0 |
| AY | 1-10 | 5.1 | 0.65 | 0.17 | 1.17 | 28.8 | 1.7 | 99.0 | 608.7 |
| AYEL | 10-20 | 5.2 | 0.18 | 0.15 | 1.19 | 13.6 | 1.4 | 52.0 | 292.8 |
| ELBT | 20-30 | 5.3 | 0.12 | 0.11 | 1.33 | 11.1 | 1.2 | 52.0 | 145.6 |
| BT | 30-40 | 5.3 | 0.08 | 0.11 | 1.21 | 14.0 | 1.4 | 67.0 | 92.6 |
| BThh | 40-50 | 5.5 | 0.06 | 0.10 | 1.26 | 10.6 | 1.2 | 71.0 | 95.4 |
| C | 70-85 | 5.5 | 0.01 | 0.09 | 1.43 | 8.4 | 1.0 | 71.0 | 80.0 |
| Оп. уч. 3. Разрез 11-59 (через 2 мес.) | | | | | | | | | |
| Opg | 0-1 | 8.0 | 1.43 | 1.21 | 0.90 | 131.8 | 38.5 | 760.0 | 1604.4 |
| AY | 1-10 | 5.8 | 0.43 | 0.43 | 1.25 | 15.8 | 6.9 | 258.0 | 634.5 |
| Оп. уч. 4. Разрез 11-58 | | | | | | | | | |
| O | 0-3 | 5.7 | 0.82 | 0.30 | 0.24 | 102.0 | 23.2 | 30.0 | 245.1 |
| AY | 3-10 | 5.7 | 0.58 | 0.27 | 1.21 | 105.4 | 24.6 | 142.0 | 465.2 |
| AYEL | 10-18 | 5.0 | 0.15 | 0.17 | 1.25 | 18.3 | 2.3 | 37.0 | 230.4 |
| EL | 18-28 | 5.0 | 0.13 | 0.15 | 1.24 | 12.2 | 1.8 | 33.0 | 76.0 |
| Ahh | 30-40 | 5.3 | 0.17 | 0.13 | 1.29 | 12.8 | 1.5 | 41.0 | 64.4 |
| BT | 50-60 | 5.6 | 0.12 | 0.10 | 1.42 | 11.9 | 1.6 | 49.0 | 80.6 |
| C | 70-80 | 5.7 | 0.01 | 0.08 | 1.49 | 11.0 | 1.5 | 30.0 | 79.7 |

гари сразу после пожара увеличивается до 6.7% от валового, несколько снижаясь через 2 мес.

Термическое воздействие на органогенные горизонты почвы приводит к изменениям и в содержании аммиачного азота в них [1]. Установлено, что значительные нарушения подстилки огнем не способствовали накоплению аммиачного азота. Несмотря на то, что в золе количество аммиака гораздо меньше, чем в подстилке, не затронутой огнем, в гумусово-аккумулятивном горизонте

почвы AY его в 1.4–1.5 раз больше по сравнению с ненарушенной почвой контрольного участка и шелкопрядника. Резкое возрастание аммонийного азота в почве сразу после прохождения огня не отмечено, и только через 2 мес. после пожара наблюдается его увеличение в поверхностном горизонте Opg. Появление таких азотофилов, как кипрей (*Chamaenerion angustifolium*) и вейник (*Calamagrostis arundinacea*), свидетельствует об удовлетворительной обеспеченности почвы гари азотом в этот период.

Таблица 5. Биологическая активность почв опытных участков

| Оп. уч. | Глубина, см | Каталаза, мл O ₂ мин г ⁻¹ | | Уреаза, мг N-NH ₄ г ⁻¹ | | "Дыхание", мг CO ₂ сут 10 г ⁻¹ | | Целлюлозоразложение, % за одну неделю | |
|---------|-------------|---|--------|--|--------|--|--------|---------------------------------------|--------|
| | | июнь | август | июнь | август | июнь | август | июнь | август |
| 1 | 0-2 | 17.0 | 3.0 | 68.00 | 20.50 | 139.18 | 67.76 | 4.9 | 21.1 |
| | 2-7 | 3.1 | 1.0 | 4.00 | 6.25 | 10.34 | 19.80 | 18.9 | 17.3 |
| | 7-12 | 2.0 | 0.9 | 2.95 | 5.38 | 5.28 | 6.05 | 9.7 | 11.8 |
| | 12-20 | 1.4 | 0.4 | 1.05 | 2.13 | 2.23 | 0.88 | 2.2 | 5.9 |
| 2 | 0-1 | 17.5 | 3.0 | 42.50 | 19.00 | 94.16 | 40.88 | 7.3 | 18.6 |
| | 1-5 | 3.0 | 1.2 | 16.40 | 9.00 | 13.86 | 12.32 | 9.3 | 22.9 |
| | 5-10 | 1.1 | 0.6 | 16.00 | 3.00 | 5.89 | 8.69 | 20.6 | 8.4 |
| | 10-20 | 1.8 | 0.4 | 3.20 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 9.8 | 4.2 |
| 3 | 0-1 | 0.4 | 1.0 | 1.13 | 1.75 | 21.12 | 12.76 | 12.2 | 26.1 |
| | 1-5 | 1.8 | 1.0 | 5.20 | 5.25 | 14.78 | 5.17 | 2.9 | 9.3 |
| | 5-10 | 1.9 | 0.4 | 7.90 | 3.88 | 2.04 | 0.33 | 17.6 | 4.9 |
| | 10-20 | 1.7 | 0.4 | 4.30 | 1.38 | 3.74 | 1.43 | 17.4 | 3.0 |

Трансформация химических и физико-химических свойств почв под действием выжигания приводит к существенным изменениям в их биологической активности (табл. 5). Общий уровень окислительно-восстановительных процессов и биологической деятельности в почве характеризуется активностью каталазы. В среднем за вегетационный период для подстилки контрольного участка она составила 10.0 мл O₂ мин г⁻¹. Для минерального горизонта 2-20 см - 1.5 мл O₂ мин г⁻¹. Активность гидролитических ферментов, таких как уреазы, регулирует распад азотсодержащих органических соединений и приводит их в доступную для растений аммонийную форму. Активность уреазы в подстилке пихтарника в среднем составила 44.3 мг N-NH₄ г⁻¹, минерального горизонта 2-20 см - 3.6 мг N-NH₄ г⁻¹.

Способность продуцировать углекислоту и активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов являются интегральными показателями биологической активности почв. Ее уровень определяется прежде всего содержанием доступных элементов питания и количеством микроорганизмов. При этом важны не только численность, но и физиологическое состояние последних. Органогенный горизонт дерново-глубокоподзолистой почвы пихтарника отличается высокой интенсивностью "дыхания" - от 139.18 мг CO₂ 10 г⁻¹ за сутки в июне до 67.76 мг CO₂ 10 г⁻¹ в августе. Минеральный горизонт почвы 2-20 см в среднем за 2 мес. продуцирует 7.4 мг CO₂ 10 г⁻¹. Активность целлюлозоразложения в подстилке почвы контрольного участка составляет в среднем за вегетационный период 13%, в горизонте 2-20 см - 11%.

Гибель древостоев в результате вспышки масового размножения сибирского шелкопряда и

последующие пожары привели к изменению активности биологических процессов главным образом в органогенном горизонте. В среднем в подстилке шелкопряда уровень окислительно-восстановительных и гидролитических процессов несколько выше контрольного - 13.8 мл 1 г⁻¹ 1 мин⁻¹ и 56.5 мг N-NH₄ г⁻¹ соответственно. В нарушенном шелкопрядом пихтарнике отмечено незначительное снижение активности продуцирования углекислоты и целлюлозоразлагающей способности в 1.4-1.6 раз по сравнению с контрольным участком.

Пожар обусловил депрессию биологических процессов в дерново-глубокоподзолистой почве. Активность каталазы в горизонте Орг свежей гари снизилась до минимума. Активность уреазы по сравнению с шелкопрядом и контрольным участком снизилась более чем в 20 раз, интенсивность выделения углекислоты - в 4.6-6.0 раз. Целлюлозоразлагающая способность составила в среднем за вегетационный период 19.2%, что несколько выше, чем в ненарушенном и поврежденном шелкопрядом сообществах.

Изменения биологической активности в верхнем горизонте (1-20 см) дерново-глубокоподзолистой почвы, обусловленные гибелью древостоя и пожаром, различны. Так, активность окислительно-восстановительных процессов осталась практически на том же уровне. Активность же уреазы в почве шелкопряда и гари оказалась несколько выше, чем в почве ненарушенного пихтарника, и составила 8.1 и 4.6 мг N-NH₄ г⁻¹ соответственно. По способности выделять углекислоту этот горизонт почвы шелкопряда почти не отличается от контрольного участка. На гари

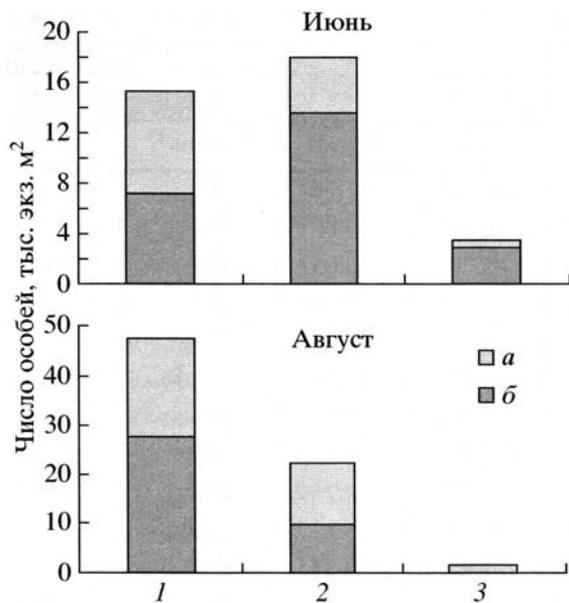


Рис. 1. Плотность коллемболы (а) и клещей (б) на опытных участках: 1 - контроль, 2 - шелкопрядик, 3 - гарь.

верхний горизонт выделяет в 1.5 раза меньше углекислоты, чем на контрольном опытном участке.

В целом на контрольном участке и в шелкопрядишке на протяжении вегетационного периода отмечено общее снижение активности биохимических процессов в 2-4 и более раз. На свежей гарь активность окислительно-восстановительных и гидролитических процессов в течение вегетационного периода практически не изменилась, а интенсивность продуцирования углекислоты существенно снизилась. Исключением является целлюлозоразлагающая способность подстилок всех сообществ: ее активность с июня по август возрастает в 4 раза на контрольном участке и в 2-2.5 раза в шелкопрядишке и на гарь.

Нарушение естественного равновесия в природных сообществах отражается и на состоянии популяций почвенных беспозвоночных [3, 9, 16]. Плотность мелких членистоногих в дерново-глубокоподзолистой почве пихтарника травяно-зеленомошного (оп. уч. 1) в среднем за вегетационный период составляет 31.4 тыс. экз м⁻², увеличиваясь в течение сезона в три раза (рис. 1). При этом 54% населения беспозвоночных сосредоточено в подстилке и в верхнем (0-2 см) горизонте почвы. В июне беспозвоночные больше тяготеют к минеральному горизонту (7.9 тыс. экз м⁻²), а в августе - к органогенному (27.5 тыс. экз м⁻²). Основу комплекса составляют клещи - 17.4 тыс. экз м⁻², среди них 74% приходится на панцирных клещей (*Oribatida*), остальная доля - на гамазовых (*Gamasina*). Среди ногохвосток (*Collembola*) в ненарушенном пихтарнике в относительно равных до-

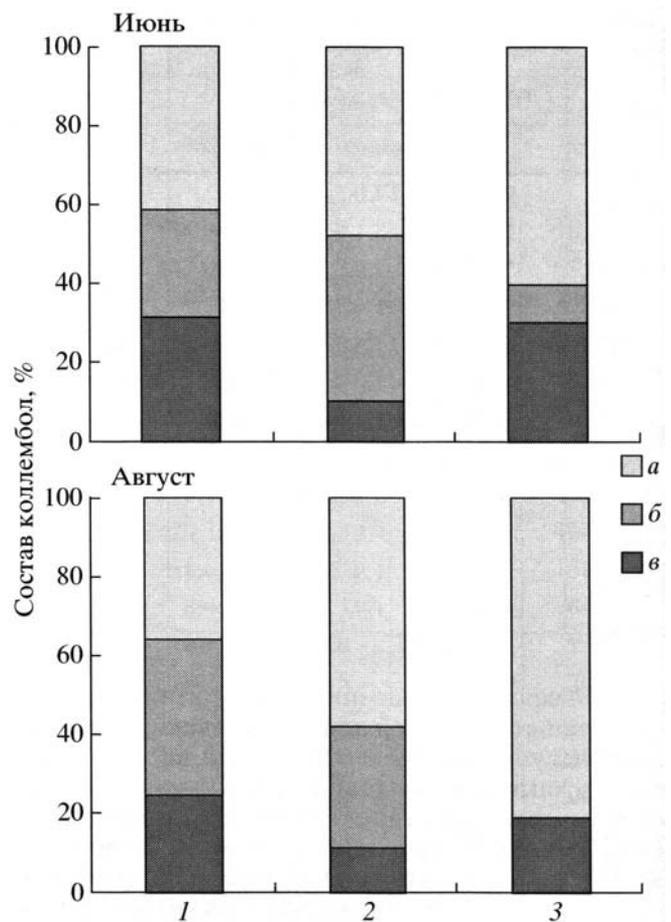


Рис. 2. Жизненные формы коллембол (а - подстилочные, б - подстильно-почвенные, в - почвенные) на опытных участках: 1 - контроль, 2 - шелкопрядик, 3 - гарь.

лях представлены подстилочные, подстильно-почвенные и почвенные формы (рис. 2). В течение вегетационного периода их соотношение незначительно меняется - к августу отмечено слабое (на 5-6%) уменьшение доли подстилочных и почвенных и увеличение доли подстильно-почвенных видов.

Возникновение шелкопрядишек приводит к сокращению численности почвенного населения мелких беспозвоночных до 20.0 тыс. экз м⁻². Основным местообитанием их является подстилка - в ней сосредоточено до 55% всего населения мелких членистоногих. Динамика плотности микроартропод в подстилке шелкопрядишки в течение вегетационного периода менее выражена, чем в ненарушенном сообществе. Однако соотношение ногохвосток и клещей существенно изменяется - в июне клещи составляют 75.5% всего комплекса, в августе - 43.9%. Среди них на орибатид приходится до 81%. Анализ жизненных форм коллембол показал, что в пихтарниках, уничтоженных

шелкопрядом, в течение всего вегетационного периода сохраняется доминирование подстилочных и подстилочно-почвенных ногохвосток, на них приходится около 90%.

Пожар существенно изменяет экологическую обстановку, а сгорание подстилки приводит к увеличению инсоляции почвы и создает дефицит влаги, что в первую очередь отражается на состоянии педокомплексов беспозвоночных. Сразу после пожара плотность населения мелких беспозвоночных снизилась в 4.5-5 раз по сравнению с контрольным участком и шелкопрядником и составила 4.4 тыс. экз м⁻² (рис. 1). Уничтожение большей части подстилки и образование специфического горизонта Орг привело к смене местобитания: до 90% всех микроартропод сосредоточено в верхнем (1-5 см) горизонте почвы. При этом основу, как и в других сообществах, составляют клещи (85%) при доминировании орибатеи (78% от плотности клещей). Среди ногохвосток на свежей гари 60% в июне приходится на подстилочные формы и 29.8% составляют почвенные (рис. 2). В течение вегетационного периода тенденция негативного воздействия пирогенного фактора на почвенное население сохраняется. Через 2 мес. после пожара отмечено значительное уменьшение плотности микроартропод - до 15 тыс. экз. м⁻², тогда как в шелкопряднике и на контрольном участке сезонная динамика носит обратный характер (рис. 2). Кроме того, значительно уменьшается население клещей - при равном долевом соотношении панцирных и гамазовых их плотность не превышает 104 тыс. экз. м⁻². Среди коллембол сохраняется доминирование подстилочных форм.

Заключение. В первые 2 мес. после контролируемого выжигания шелкопрядников в Нижнем Приангарье происходит изменение свойств верхних горизонтов почвы. Установлено, что при выжигании шелкопрядника потеря углерода из лесной подстилки составила 75.7, а азота - 49.6%. Большое содержание золы приводит к снижению актуальной кислотности и увеличению концентрации в горизонте Орг зольных элементов. Специфической особенностью лизиметрических вод на пожарище является обогащение их твердыми частицами. В качестве примера положительного влияния пожара на почвы шелкопрядников можно назвать увеличение как валовых, так и подвижных соединений фосфора и калия в поверхностных горизонтах. Выжигание шелкопрядника привело к увеличению здесь валового калия в 3.2, а подвижного - в 4.3 раза. Подобная тенденция к увеличению характерна и для фосфора. Дерново-глубокоподзолистые почвы после воздействия шелкопрядника и последующего пожара сохраняют определенный уровень потенциальной биологической активности, что позволяет ей быстро восстанавливать свои свойства по окончании дейст-

вия этих факторов. Максимальной плотностью почвенных микроартропод характеризуется пихтарник контрольного участка. В почве под шелкопрядником наблюдается значительное снижение плотности населения мелких членистоногих. Последующий пожар приводит к резкому снижению плотности микроартропод. Население клещей сокращается в сотни раз. Среди коллембол доминируют подстилочные формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьева З.Н., Колесников Б.П. Динамика аммиачного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1963. № 3. С. 30-45.
2. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
3. Горбачев В.Н., Дмитриенко В.К., Попова Э.П., Сорокин Н.Д. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1982. 185 с.
4. Дунгер В. Учет микроартропод (микрофауна) // Количественные методы в почвенной зоологии. М.: Наука, 1987. С. 26-51.
5. Захарына Г.В. К вопросу о классификации природных вод и растворов по их химическому составу // Почвоведение. 1963. № 4. С. 60-75.
6. Зонн С.В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372-457.
7. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 263 с.
8. Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 172 с.
9. Кудряшева И.В., Ласкова Л.М. Панцирные клещи (*Acariformes*, *Oribatei*) как показатели постпирогенных преобразований в подзолистых и торфяных почвах северотаежных лесов // Изв. РАН. Сер. биол. 2002. № 1. С. 106-113.
10. Кузьмичев В.В., Черкашин В.П., Корец М.А., Михайлова И.А. Формирование лесов на шелкопрядниках и вырубках в верховьях р. Большая Кеть (Красноярский край) // Лесоведение. 2001. № 4. С. 8-14.
11. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
12. Методы стационарного изучения почв. М.: Наука. 1977. 297 с.
13. Попова Э.П. Влияние низовых пожаров на свойства лесных почв Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск: Изд-во Ин-та леса СО АН СССР, 1975. С. 166-178.
14. Попова Э.П. Влияние пожаров на пестроту почвенного покрова в сосновых насаждениях // Почвы сосновых лесов Сибири. Красноярск: Изд-во Ин-та леса СО АН СССР, 1986. С. 63-70.
15. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биоло-

- гического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
16. Рубцова З.И. Влияние лесных пожаров на динамику численности и структуру компонентов почвообитающих беспозвоночных // Фауна и экология беспозвоночных животных. М.: Изд-во МГПИ, 1983. С. 135-142.
 17. Скрынникова И.Н. Методы исследования химического состава жидкой фазы почв // Методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1977. С. 3-40.
 18. Тарабукина В.Т., Саввинов Д.Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.
 19. Уткин А.И. Влияние огня на природу и формирование лиственничников Центральной Якутии // Лесн. хоз-во. 1965. № 1. С. 46-50.
 20. Фирсова В.П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Тр. Ин-та экологии растений и животных УФ АН СССР. 1969. Вып. 63. С. 151-163.
 21. Фуряев В.В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966. 92 с.
 22. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 179 с.
 23. Baranchikov Yu.N., Kondakov Yu.P. Outbreaks of Siberian moth *Dendrolimus superans sibiricus* Tschtrvk. In Central Siberia // Proceedings, SOA interagency gypsy moth Forum. Radnor, PA, USDA Forest Service, NEFES. 1997. P. 10-13.

The Influence of Controlled Burning of Forests Damaged by Siberian Moth on Properties of Soddy-Podzolic Soils in the Lower Angara River Basin

**Yu. N. Krasnoshchekov, E. N. Valendik, I. N. Bezkorovainaya,
S. V. Verkhovets, E. K. Kisilyakhov, and V. V. Kuz'michenko**

The data on the post-fire dynamics of soil properties in foci of Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*) outbreaks are considered. The burning of forests previously damaged by Siberian moth is found to induce losses of carbon (75%) and nitrogen (about 50%) from the forest litter. At the same time, the total potassium and phosphorus contents increased by 3.2 times, concentrations of their mobile forms, by 4.3 and 12.3 times, respectively. In the first two months, the favorable effect of fire of physicochemical properties of soils was registered. A significant transformation of biological processes in the organic horizon of soils was registered after fire. In this horizon, the abundance of microarthropods and mite population were reduced by hundreds of times.