

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*231(571.16)

DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.5

ОСОБЕННОСТИ ВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ В СВЯЗИ С ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ИХ МИКРОМОЗАИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА

Н. М. Дебков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Российская Федерация, 634055, Томск, пр. Академический, 10/3
E-mail: nikitadebkov@yandex.ru

Представлены результаты изучения природного потенциала возобновления пихтовых лесов юго-восточной части Западной Сибири, в разной степени повреждённых в результате инвазии уссурийского полиграфа. На основе собранных данных и их статистической обработки установлена обеспеченность насаждений подростом, численности которого достаточно для дальнейшего процесса формирования древостоев естественным путём. С учётом морфологических особенностей возобновления и трансформации микросайтовой структуры сообществ сделан прогноз лесообразовательного процесса, согласно которому в перспективе ожидается продолжение доминирования пихты сибирской в составе древостоев.

Ключевые слова: *пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb.; естественное возобновление; уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf.; лесообразовательный процесс; микросайты.*

Введение. В начале текущего столетия активизировались процессы деградации (в основном усыхания) хвойных вечнозелёных лесов в бореальной зоне по всей планете [1–6]. Среди вероятных причин гибели хвойных древостоев рассматриваются корневые гнили и бактерии [7], насекомые-вредители [8], возрастание засушливости климата [9]. Вне зависимости от того, что является первопричиной крупномасштабных усыханий, синергизм указанных факторов влечёт ослабление древостоев и сенсibiliзацию деревьев к воздействию, в частности, стволовых насекомых-вредителей, которые зачастую

выступают финальным фактором, приводящим к гибели хвойные леса. В этом плане исключительно важное значение приобретают исследования, направленные на изучение способностей деградированных и нарушенных экосистем к самовосстановлению.

В Южной Сибири на фоне этих глобальных процессов наблюдается уникальное для сибирской тайги явление – широкомасштабное усыхание пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в результате инвазии и массового размножения исконно дальневосточного короеда – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. [10–12].

© Дебков Н. М., 2017.

Для цитирования: Дебков Н. М. Особенности возобновительных процессов пихтовых лесов в связи с трансформацией их микромозаичной организации под воздействием уссурийского полиграфа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 5–16. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.5

Ранее были освещены основные закономерности влияния уссурийского полиграфа на подрост в повреждённых инвайдером лесах [13–16], однако анализ, как правило, ограничивался применением минимального спектра количественных и качественных параметров подроста и проводился без учёта структуры микроместообитаний.

Целью настоящей статьи является восполнение этих пробелов и выявление закономерностей динамики начальных стадий лесообразовательного процесса с учётом трансформации микросайтовой структуры сообществ в ходе инвазии уссурийского полиграфа в Западной Сибири.

Объекты и методы исследований. Исследования проведены в южной части Томской области на 11 пробных площадях (пр. пл.) (табл. 1), заложенных в 2012–2016 гг. сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, как в чистых по составу пихтачах (с долей участия других пород до 2 единиц), так и в смешанных древостоях с сосной сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), берёзой повислой (*Betula pendula* Roth) и осинкой (*Populus tremula* L.). Обследованные насаждения относились к приспевающей или спелой группам возраста и характеризовались на момент исследования разной степенью нарушенности – от ослабленных (средневзвешенная категория состояния древостоя (СКС) до 1,6–2,5 балла) до сильно ослабленных (СКС варьирует в пределах 2,6–3,5 балла) и деградированных (СКС составляет 3,6 балла и выше).

Изучение естественного возобновления проводилось по специализированным методическим указаниям [17], модифицированным в соответствии с поставленными задачами. В зависимости от характеристики исследуемых сообществ (площади участка и количественных параметров подроста) перечёт производился на непрерывных или прерывистых трансектах квадратными учётными площадками по

4 м² в количестве 25 штук или на 30 круговых площадках размером 10 м².

При перечёте подроста учитывались его породный состав, высота, диаметр, возраст, численность, встречаемость, протяжённость и проекция кроны, линейные приросты осевого побега и бокового побега 1 порядка. Также отбирались модельные экземпляры подроста в количестве трёх штук на группу высот для уточнения морфологических характеристик и возраста.

Основными параметрами, принятыми в работе и характеризующими жизнеспособный подрост*, являются соотношение текущего линейного прироста осевого побега и бокового побега 1 порядка, так называемый экологический коэффициент кроны (более 0,5 для мелкого подроста, 0,7 для среднего и 1 для крупного), протяжённость кроны по стволу (более 61 %), отношение длины кроны к ширине (более 0,9) [18]. Принятые в данной работе значения экологического коэффициента кроны отличны от общепринятых в лесоведении в связи с особенностями онтогенеза пихты сибирской [19]. В раннем и позднем имматурном состоянии, которые применимы к мелкой и средней категории высоты пихтового подроста соответственно, характерно превышение прироста боковых ветвей над осевым побегом. При комплексной оценке жизненного состояния благонадёжным считался подрост, у которого наблюдалось превышение пороговых значений по двум из трёх вышеприведённых параметров.

Для оценки топической приуроченности подроста изучалась структурная организация микроместообитаний в лесных сообществах, выражаемая в образовании в процессе жизни и смерти деревьев специфического фитогенного нанорельефа [20]. Указанная классификация была суще-

* Правила лесовосстановления: утв. приказом № 375 МПР России 29 июня 2016 г. Зарегистрировано в Минюсте России 15.11.2016 N 44342 // КонсультантПлюс. URL: www.consultant.ru

ственно модифицирована нами под конкретные условия исследований. В соответствии с ней были выделены такие микроместообитания (микросайты) 1 порядка, как подкروновые участки живых и мёртвых генеративных деревьев (с разделением на сухостой, бурелом и ветровал), а также межкروновые участки. Внутри каждого микроместообитания 1 порядка были дополнительно выделены микроместообитания 2 порядка: ровные участки, приствольные возвышения, а также места расположения мёртвой древесины – пни и валёжины.

Статистическая обработка собранного материала осуществлялась стандартными

методами [21] в Excel с вычислением среднего значения с ошибкой, точности, коэффициента вариации, дисперсии, а также коэффициентов корреляции.

Результаты и их обсуждение. В пихтовых лесах Коларовского участкового лесничества Томского лесничества было заложено 4 пр. пл. в смешанных (№ 2–12, 3–12, 4–12) и чистом (№ 1–12) пихтовых насаждениях (см. табл.). Насаждения на пр. пл. 1–12 и 4–12 являются деградированными, на пр. пл. 2–12 и 3–12 – сильно ослабленными. Под пологом деградированных древостоев сформировался сплошной (проективное покрытие 100 %) ярус черёмухи, бузины, крапивы и малины.

Характеристика подроста в пихтачах, повреждённых уссурийским полиграфом

№ ПП	Состав, %	Категория крупности	Возраст, лет	Высота, см	Диаметр, см	Протяженность кроны, %	Отношение протяженности кроны к ее ширине	Экологический коэффициент кроны
Коларовское уч. лесничество Томского лесничества (ООПТ «Ларинский ландшафтный заказник»)								
1–12	89П 8Е 3К	I	10±3	46±11	0,8±0,1	68	0,8	0,4
		II	17±3	109±10	1,8±0,2	76	1,0	1,0
		III	33±7	307±79	4,6±1,0	71	1,1	2,8
2–12	94П 6Е	I	11±2	33±3	0,5±0,1	67	1,0	0,3
		II	17±1	98±14	1,9±0,3	78	1,0	0,6
		III	27±4	309±64	3,7±0,9	72	1,7	1,6
3–12	99П 1К	I	9±2	31±2	0,7±0,1	64	1,1	0,6
		II	18±1	87±3	1,7±0,2	83	1,1	1,3
		III	20±1	190±5	3,0±0,3	91	1,4	1,8
4–12	99П 1К	I	13±1	43±6	0,8±0,1	72	1,1	0,8
		II	21±2	73±6	1,2±0,1	58	0,8	0,8
		III	44±5	302±78	4,8±0,8	64	1,4	2,0
Межениновское уч. лесничество Томского лесничества (окр. пос. Басандайка Томского р-на)								
5–12	84П 16Е	I	20±1	33±4	0,6±0,1	69	0,8	0,6
		II	26±1	98±8	1,6±0,1	72	1,1	1,2
		III	29±1	217±15	3,6±0,3	68	1,0	3,2
30–16	87П 13Е	I	15±1	36±3	0,6±0,1	47	0,6	0,5
		II	26±1	87±6	1,3±0,1	42	0,6	0,9
		III	37±1	260±29	3,2±0,3	44	0,7	1,0
Городские леса Томска (ООПТ «Заварзинская лесная дача»)								
6–12	100П	I	-	12±1	0,3±0,1	-	-	-
		II	-	59±7	0,7±0,1	43	0,6	0,4
		III	28±3	378±44	5,1±0,6	74	1,3	1,4
Прикульское уч. лесничество Корниловского лесничества (окр. пос. Итатка Томского р-на)								
32–16	89П 9Е 2К	I	10±1	39±3	0,6±0,1	66	1,2	0,7
		II	21±2	87±11	1,5±0,3	69	1,1	0,8
		III	35±1	215±5	2,5±0,1	53	0,9	1,3

Окончание таблицы

33–16	91П 9Е	I	11±1	42±3	0,7±0,1	51	0,8	0,4
		II	25±4	83±25	1,5±0,4	65	0,8	0,4
		III	38±2	201±35	2,9±0,3	64	1,0	0,8
34–16	100П	I	14±2	59±2	1,0±0,1	72	0,7	0,9
		II	23±2	116±15	1,9±0,3	63	0,9	0,8
		III	29±5	210±18	2,8±0,2	85	1,4	0,9
Четское уч. лесничество Тегульдетского лесничества (окр. пос. Четь-Конторка Тегульдетского р-на)								
45–16	100П	I	3±1	13±3	0,4±0,1	-	-	-

Примечание: I – мелкий, II – средний, III – крупный подрост.

Состав подроста не повторяет пропорций материнского полога, обеспеченность им составляет $1,2±0,3$ и $13,2±4,6$ тыс. шт./га (при встречаемости 60 и 96 %) в деградированных пихтачах и $10,0±3,3$ тыс. шт./га и $19,2±6,8$ тыс. шт./га (при встречаемости 83 и 92 %) в сильно ослабленных древостоях. Благонадёжный подрост имеется во всех обследованных насаждениях, при этом на пр. пл. 3–12 представлен всеми категориями крупности, на пр. пл. 1–12 средним и крупным подростом, на долю которых приходится 83 % (около 1 тыс. шт./га), а на пр. пл. 2–12 только крупным подростом, доля которого равна 68,5 % (более 6,5 тыс. шт./га). На пр. пл. 4–12 по параметрам кроны средний подрост относится к неблагонадёжному, однако он постепенно наращивает прирост в высоту и тем самым положительно реагирует на осветление в результате отпада части деревьев верхнего полога.

В пихтовых лесах Межениновского участкового лесничества Томского лесничества было заложено 2 пр. пл. (№ 5–12, 30–16) в чистых пихтовых насаждениях. Первое насаждение является сильно ослабленным, а второе – ослабленным. Состав подроста в общих чертах закономерно повторяет состав материнского полога, обеспеченность им колеблется от $6,2±3,0$ тыс. шт./га (при встречаемости 80 %) в сильно ослабленном пихтаче до $7,6±3,1$ тыс. шт./га (при встречаемости 100 %) в ослабленном древостое. На пр. пл. 5–12 по параметрам кроны весь под-

рост относится к неблагонадёжному, но по показателю текущего прироста он показывает положительную динамику. Это свидетельствует о том, что ранее он находился в более неблагоприятных условиях (конкуренция за ресурсы с материнским древостоем) и крона формировалась плохого качества, а затем ситуация изменилась в связи с усыханием основного полога, и постепенно подрост улучшает своё состояние.

В городских лесах Томска была заложена 1 пр. пл. (№ 6–12) в деградированном смешанном пихтовом насаждении. Под пологом разрушенного древостоя сформировался сплошной (проективное покрытие 100 %) ярус черёмухи, бузины, спиреи, крапивы и малины. Состав подроста не соответствует таковому материнского полога и представлен исключительно пихтой численностью $1,5±0,7$ тыс. шт./га (при встречаемости 36 %). Благонадёжным является мелкий и крупный подрост, на который приходится 52 % (около 0,8 тыс. шт./га).

В пихтовых лесах Прикульского участкового лесничества Корниловского лесничества было заложено 3 пр. пл. – в смешанных (№ 32–16, 33–16) и чистом (№ 34–16) пихтовых насаждениях. Пихтовый элемент леса в смешанных насаждениях признан сильно ослабленным, в чистом – ослабленным. Состав подроста в общих чертах закономерно повторяет состав материнского полога, обеспеченность им колеблется от $3,7±1,3$ тыс. шт./га (при встречаемости 63 %) в чистом пихтаче до

3,9±1,3 тыс. шт./га (при встречаемости 60 %) и 8,5±3,5 тыс. шт./га (при встречаемости 77 %) в смешанных древостоях (пр. пл. № 32–16 и 33–16, соответственно). Благонадёжный подрост имеется во всех обследованных насаждениях, при этом на пр. пл. 32–16 представлен всеми категориями крупности, на пр. пл. 33–16 только крупным подростом, на долю которого приходится 12,5 % (около 1 тыс. шт./га), а на пр. пл. 34–16 – мелким и средним подростом, который составляет 86 % (более 3 тыс. шт./га).

В пихтовых лесах Четского участкового лесничества Тегульдетского лесничества была заложена 1 пр. пл. (№ 45–16) в чистом пихтовом насаждении, которое являлось деградированным. Особенностью насаждения было то, что его систематически затапливало в период паводка, поскольку оно располагается в водоохранной зоне р. Четь. Характеристика подроста однородная, он представлен пихтой мелкой категории крупности (10–40 см) возрастом до 10 лет (в среднем 2–5 лет). Под пологом разрушенного древостоя сформировался сплошной (проективное покрытие 100 %) ярус свидины и крапивы. Состав подроста повторяет таковой материнского полога, обеспеченность им составляет 29,6±11,2 тыс. шт./га (при встречаемости 92 %). Состояние ценопопуляций подроста вполне благонадёжное.

На основе динамики численности и особенностей морфоструктуры в состоянии подроста выявлен ряд закономерностей. В частности, выявлена связь степени повреждённости (ослабленности) древостоя и состояния подроста. Для деградированных насаждений характерно наличие крупного подроста средней высотой 3,1±0,8–3,8±0,4 м с превышением линейного прироста осевого побега над боковым в 1,4–2,8 раза. При этом максимальное значение текущего годового прироста в высоту осевого побега достигает 35,7±5,7 см/год. Средний подрост также благонадёжен, а мелкий подрост, как пра-

вило, нежизнеспособен и испытывает угнетающее влияние подпологовой растительности, представленной как разросшимися кустарниками, так и травяным покровом. В отношении сильно ослабленных насаждений динамика примерно такая же, крупный подрост средней высоты 1,9±0,1–2,1±0,2 м характеризуется превышением линейного прироста осевого побега над боковым в 0,8–3,2 раза. При этом максимальное значение текущего годового прироста в высоту осевого побега достигает 22,0±3,9 см/год. Состояние мелкого и среднего подроста подчиняется тем же закономерностям, что и в деградированных насаждениях. Несколько иная картина наблюдается в ослабленных насаждениях, где крупный подрост имеет среднюю высоту 2,1±0,1–2,6±0,3 м с равенством линейного прироста осевого побега и бокового (0,9–1,0 раз). Максимальное значение текущего годового прироста в высоту осевого побега достигает 7,3±3,2 см/год. При этом как средний, так и мелкий подрост в большинстве случаев благонадёжен и имеет экологический коэффициент кроны такой же, как и у крупного подроста.

Обобщая вышеприведённые данные, можно отметить, что как в полностью деградированных насаждениях, так и в древостоях, ослабленных в той или иной степени, имеется достаточное количество благонадёжного подроста в большинстве случаев с равномерной встречаемостью, которое обеспечит формирование сообществ с преобладанием пихты, т. е. смены пород не произойдет. При этом в полностью деградированных насаждениях с неравномерной встречаемостью прогнозируется формирование куртинно-разновозрастных пихтачей.

Избирательность воздействия уссурийского полиграфа проявляется и на уровне микромозаичной организации лесного сообщества (рис. 1). Усреднённая микромозаичная организация пихтовых лесов, испытавших воздействие дальнево-

сточного инвайдера, включает такие микросайты 1 порядка, как межкроновые участки (40,5 %), подкroновые участки живого дерева (42,6 %), подкroновые участки сухостоя (11,4 %) и подкroновые участки ветровала или бурелома (5,6 %). В целом аналогичная ситуация наблюдалась в пихтовых лесах или лесах со значительным участием пихты в Предуралье, где, по данным одних авторов, суммарно доля подкroновых участков колеблется от 50 до 70 %, межкroновых – от 20 до 40 % и более [22]. По данным других авторов, наибольшую площадь занимают межкroновые (45,96 %) и подкroновые участки (48,53 %), при этом доля микроместообитаний остальных типов составляет 5,39 % [23].

В пихтачах Томской области в зависимости от степени нарушенности сообщества отчётливо проявляется трансформация микросайтов 1 порядка. При увеличении повреждённости пихтовых лесов закономерно снижается доля подкroновых участков живых деревьев в ряду ослабленные – сильно ослабленные – деградированные насаждения (53–46,9–31,7 %, соответственно). Это приводит к изменению в обратном направлении доли подкroновых участков сухостойных деревьев, которые появляются в сильно ослабленных древостоях (8,4 %) и имеет существенное значение на деградированных участках (20,8 %). Различий в долях меж-

кroновых участков и бывших когда-то подкroновых бурелома и ветровала, которые трансформировались в результате причин абиотической и биотической природы, не наблюдается. В повреждённых полиграфом насаждениях прогнозируется дальнейшая трансформация структуры микроместообитаний, а именно – будет уменьшаться площадь подкroновых участков сухостоя в сторону увеличения подкroновых участков бурелома, поскольку пихта, чаще всего, обламывается на некоторой высоте без образования пней, пригодных для заселения подростом. В свою очередь будет изменяться соотношение микроместообитаний 2 порядка, а именно увеличится площадь, занятая крупными древесными остатками (обломленные части стволов). Однако пригодность для заселения древесными растениями нового биогенного субстрата будет достигнута только на поздних стадиях разложения [24], в случае с пихтой, по нашим наблюдениям, этот период занимает в среднем около 15–25 лет. Данный прогноз более достоверен для деградированных насаждений, где уже нет кормовой базы для уссурийского полиграфа. В ослабленных же в той или иной степени древостоях ещё существует потенциал размножения короёда, поэтому имеется вероятность протекания процессов трансформации по-иному.

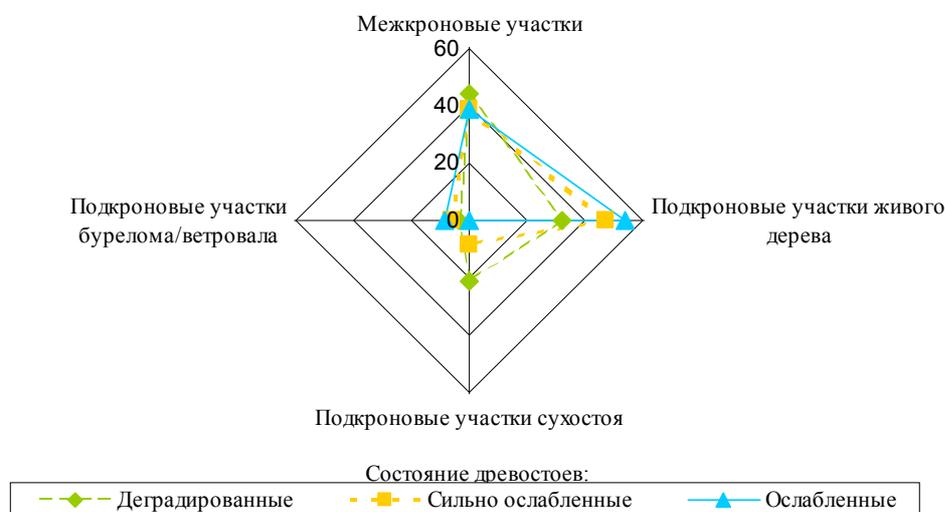


Рис. 1. Микромозаичная организация пихтовых лесов, повреждённых уссурийским полиграфом

Анализ обеспеченности подростом показал, что его основная масса приурочена к такому микросайту 2 порядка, как ровные участки (более 70 %) и не зависит от степени нарушенности насаждения (рис. 2). Также значительное (около 20–35 %) количество подроста локализовано на приствольных возвышениях, а на мёртвый органический субстрат приходится незначительное количество (менее 10 %). Дифференцированный анализ в разрезе микроместообитаний 1 порядка показал, что общая обеспеченность подростом не соответствует представленности тех или иных микросайтов. Большая пропорциональность в этом аспекте наблюдается для сильно ослабленных насаждений (коэффициент корреляции 0,99). Несколько меньше для ослабленных древостоев (коэффициент корреляции 0,89), но чётко фиксируется примерно в два раза большая обеспеченность подкроновых участков ветровала и бурелома, что можно объяснить так называемой «оконной динамикой», характерной для разновозрастных лесов. При этом обеспеченность межкроновых участков, наоборот, примерно в два раза ниже, а подкроновых участков живых деревьев несколько выше (около 10 %). Самое значительное расхождение наблюдается для деградированных участков (коэффициент

корреляции 0,60), для которых характерны низкая обеспеченность подростом межкроновых микросайтов (в два раза) и высокая обеспеченность подкроновых участков живых деревьев (также почти в два раза). Это наглядное свидетельство формирования куртинно-разновозрастных древостоев, когда в деградированных сообществах именно сохранившиеся участки с материнским древостоем наиболее полно передают эдафотопотенциальные признаки формирующемуся молодняку и определяют последующий очаговый характер лесовозобновления [25].

Динамика встречаемости подроста на тех или иных микросайтах также подвержена определённым закономерностям. Чаще всего подрост отсутствует в межкроновых участках (на 39 % площади микросайта), в остальных микроместообитаниях показатель примерно одинаков и составляет 7–9 % от площади, занятой тем или иным микросайтом. Отсутствие подроста на межкроновых участках можно объяснить разрастанием подлеска и светолюбивой растительности, характерным для травяных типов леса в южной тайге. С этим же связано преобладание крупного подроста на подкроновых участках ветровала и бурелома и его малая представленность в межкроновых участках.

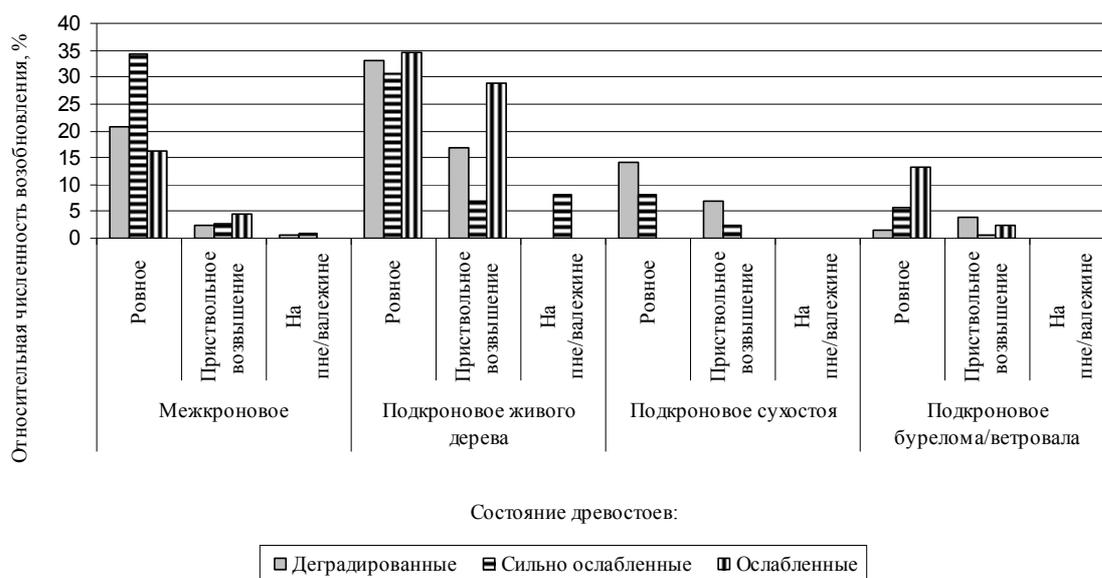


Рис. 2. Приуроченность естественного возобновления к различным типам микроместообитаний

Выводы

1. Как ослабленные в той или иной степени, так и полностью деградированные пихтовые насаждения имеют природный потенциал возобновления, представленный в основном пихтой, для последующей регенерации насаждений естественным путём без смены пород. Связи численности подростка со степенью нарушения сообществ не выявлено.

2. Морфоструктура подростка свидетельствует о преимущественно жизнеспособном его состоянии и перспективности в плане формирования древостоя. Отмечено, что крупный и средний подрост положительно отреагировал на изменение микроклиматических условий в результате воздействия уссурийского полиграфа в деградированных и сильно ослабленных насаждениях, прогнозируется продолжение ритмичного наращивания линейного прироста.

3. Трансформация микросайтовой структуры пихтовых лесов выражается в появлении новых типов микроместообитаний 1 порядка в нарушенных лесах – подкроновых участков сухостойных деревьев с присущими им особенностями светового и температурного режимов. Кратко- и среднесрочный прогноз сводится к продолжению этого процесса с увеличением в силу буреломности сухостойных

пихт валёжной древесины, которая как биогенный субстрат может быть использована в целях воспроизводства на последних стадиях разложения.

4. Большая часть (64–79 %) подростка приурочена к ровным участкам, существенное его количество локализовано на приствольных повышениях (19–36 %). Значимого влияния элементов фитогеогенного микрорельефа (пни, валёжины) на обеспеченность подростом не выявлено. В перспективе должно увеличиваться значение именно положительных форм нанорельефа в силу разрастания светолюбивой растительности.

5. Расхождения в представленности разных типов микроместообитаний по сравнению с встречаемостью и обеспеченностью их подростом выражаются в более равномерном и с большей плотностью подростка подкroновых участков живых деревьев, а также ветровала и бурелома. Сгруппированность подростка около сохранившихся участков с материнским древостоем типична для деградированных сообществ и обеспечит формирование куртинно-разновозрастных древостоев. Концентрация подростка на участках ветровала и бурелома характерна для сильно ослабленных насаждений и приведёт к увеличению «оконной динамики» и формированию более разновозрастных сообществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-44-700782 р-а).

Список литературы

1. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations / S.N. Aitken, S. Yeaman, J.A. Holliday et al. // *Evolutionary Appl.* 2008. Vol. 1. No 1. Pp. 95–111.
2. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests / C.D. Allen, A.K. Macalady, H. Chenchouni et al. // *Forest Ecol. and Management.* 2009. Vol. 259. No 4. Pp. 660–684.
3. Anderegg L.D. L., Anderegg W.R. L., Berry J.A. Tree physiology review: not all droughts are created equal: translating meteorological drought into woody plant mortality // *Tree Physiol.* 2013. Vol. 33. No 7. Pp. 701–712.
4. Effects and etiology of sudden aspen decline in southwestern Colorado, USA / J.J. Worrall, S.B. Marchetti, L. Egeland et al. // *Forest Ecol. and Management.* 2010. Vol. 260. No 5. Pp. 638–648.
5. Yousefpour R., Hanewinkel M., Le Moguedec G. Evaluating the suitability of management strategies of pure Norway Spruce forests in the Black Forest Area of Southwest Germany for adaptation to or mitigation of climate change // *Environ. Management.* 2010. Vol. 45. No 2. Pp. 387.
6. Martinez-Vilalta J., Lloret F., Breshears D.D. Drought-induced forest decline: causes, scope and implications // *Biol. Lett.* 2012. Vol. 8. No 5. Pp. 689–691.
7. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions / K.F. Raffa, B.H. Aukema, B.J. Bentz et al. // *Bioscience.* 2008. Vol. 58. Pp. 501–517.

8. Logan J.A., Regnière J., Powell J. A. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics // *Frontiers Ecol. Environ.* 2003 Vol. 1. Pp. 130–137.
9. Siberian Pine decline and mortality in Southern Siberian mountains / V.I. Kharuk, S.T. Im, P.A. Oskorbin et al. // *Forest Ecol. and Management.* 2013. Vol. 310. Pp. 312–320.
10. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири / Ю.Н. Баранчиков, В.М. Петько, С.А. Астапенко и др. // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник.* 2011. № 4. С. 78–81.
11. Распространение уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) в Сибири / С.А. Кривец, И.А. Керчев, Э.М. Бисирова и др. // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2015. № 211. С. 33–45.
12. Transformation of taiga ecosystems in the western siberian invasion focus of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) / S.A. Krivets, E.M. Bisirova, I.A. Kerchev et al // *Russian Journal of Biological Invasions.* 2015. Vol. 6. No 2. Pp. 94–108.
13. Пац Е.Н. Влияние уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) на подрост пихты сибирской в очагах инвазии в Томской области // VII Чтения памяти О.А. Катаева: Материалы Международной конференции. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С. 72.
14. Пац Е.Н., Чернова Н.А. Изменение жизненности подростка в ходе инвазии уссурийского полиграфа в пихтовые леса Томской области // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013: Материалы IX Международного научного конгресса.* Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 3. № 4. С. 55–59.
15. Пац Е.Н., Кривец С.А. Роль уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. в ухудшении состояния естественного возобновления в поврежденных пихтовых лесах // *Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.* Новосибирск: СО РАН, 2014. С. 655–657.
16. Шабалина О.М., Безкоровая И.Н. Изменение основных компонентов фитоценоза в очаге массового размножения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) на территории Красноярского края // *Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.* Новосибирск: СО РАН, 2014. С. 658–660.
17. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
18. Успенский Е.И. Лесовозобновительный процесс под пологом мелколиственных лесов Среднего Поволжья // *Лесной журнал.* 1987. № 3. С. 116–118.
19. Махатков И.Д. Поливариантность онтогенеза пихты сибирской // *Бюллетень Московского общества испытателей природы.* 1991. Т. 96. Вып. 4. С. 79–88.
20. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Под ред. Л.Б. Заугольной, Т.Ю. Браславской. М.: Товарищество научных изданий. КМК, 2010. 383 с.
21. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
22. Микромозаичная организация и фитомасса напочвенного покрова в основных типах темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника / Д.Л. Луговая, О.В. Смирнова, М.В. Запрудина и др. // *Экология.* 2013. № 1. С. 3–10.
23. Запрудина М.В. Фитомасса травянокустарничкового и мохового ярусов темнохвойных высокотравных лесов Печоро-Ильчского заповедника // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2010. Т. 12. № 1(3). С. 876–879.
24. Алейников А.А., Бовкунов А.Д. Микромозаичная организация крупнопоротниковых и высокотравных пихто-ельников Печоро-Ильчского заповедника // *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского.* 2011. № 25. С. 38–46.
25. Паутов Ю.А. Техногенная структура вырубок – основа технологии лесовосстановления: Серия препринтов «Научные рекомендации – народному хозяйству». Сыктывкар, 1992. Вып. 98. 20 с.

Статья поступила в редакцию 21.11.16.

Информация об авторе

ДЕБКОВ Никита Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Область научных интересов – воспроизводство лесов, сукцессии, кедровые леса. Автор 70 публикаций.

UDC 630*231(571.16)
DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.5

**PECULIARITIES OF FOREST REGENERATION PROCESSES IN FIR FOREST
CAUSED BY TRANSFORMATION OF THEIR MICRO MOSAIC ORGANIZATION BY
POLYGRAPHUS PROXIMUS BLANDF**

N. M. Debkov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences (IMCES SB RAS),
10/3, Akademicheskyy Prospekt, Tomsk, 634055, Russian Federation
E-mail: nikitadebkov@yandex.ru

Key words: *Abies sibirica* Ledeb.; natural reforestation; *Polygraphus proximus* Blandf.; forest forming process; microsites.

ABSTRACT

Introduction. Boreal forests are extensively drying out all over the globe. The process is caused mainly by xylophages. For example, propagation of bug beetle *Polygraphus proximus* Blandf. in Siberian mountains results in intensive drying of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.). The research focuses on the evaluation of natural reforestation of fir forest in Western Siberia damaged by *Polygraphus proximus* Blandf. **Materials and methods.** The research was carried out in the southern part of the Tomsk region on eleven plots of fir forest damaged to different extents. The research into the processes of natural reforestation and micro mosaic organization was carried out in compliance with the standard procedures modified for this research. **Results.** The amount of undergrowth varies from 1.2 thousand to 29.6 thousand trees per hectare in the damaged fir forest. The species prevailing in the undergrowth is the fir tree. The undergrowth exceeding 0.5 m in height has significantly increased. Most undergrowth vegetation (64–79%) is featured on the flat surfaces. A significant amount of undergrowth vegetation is found on the elevations near to tree trunk (19–36%). **Conclusion.** Fir trees in the Western Siberia, damaged by *Polygraphus proximus* Blandf. have the regeneration capacity. *Abies sibirica* is bound to preserve its forest forming function.

The research was supported by the Russian Foundation for Fundamental Research (№ 16-44-700782 p-a).

REFERENCES

1. Aitken S.N., Yeaman S., Holliday J.A. et al. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Appl.* 2008. Vol. 1. No 1. Pp. 95–111.
2. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecol. and Management.* 2009. Vol. 259. No 4. Pp. 660–684.
3. Anderegg L.D. L., Anderegg W.R. L., Berry J.A. Tree physiology review: not all droughts are created equal: translating meteorological drought into woody plant mortality. *Tree Physiol.* 2013. Vol. 33. No 7. Pp. 701–712.
4. Worrall J.J., Marchetti S.B., Egeland L. et al. Effects and etiology of sudden aspen decline in southwestern Colorado, USA. *Forest Ecol. and Management.* 2010. Vol. 260. No 5. Pp. 638–648.
5. Yousefpour R., Hanewinkel M., Le Moguedec G. Evaluating the suitability of management strategies of pure Norway Spruce forests in the Black Forest Area of Southwest Germany for adaptation to or mitigation of climate change. *Environ. Management.* 2010. Vol. 45. No 2. Pp. 387.
6. Martinez-Vilalta J., Lloret F., Breshears D.D. Drought-induced forest decline: causes, scope and implications. *Biol. Lett.* 2012. Vol. 8. No 5. Pp. 689–691.
7. Raffa K.F., Aukema B.H., Bentz B.J. et al. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience.* 2008. Vol. 58. Pp. 501–517.
8. Logan J.A., Regniere J., Powell J. A. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers Ecol. Environ.* 2003. Vol. 1. Pp. 130–137.
9. Kharuk V.I., Im S.T., Oskorbin P.A. et al. Siberian Pine decline and mortality in South-ern Siberian mountains. *Forest Ecol. and Management.* 2013. Vol. 310. Pp. 312–320.

10. Baranchikov Iu.N., Petko V.M., Astapenko S.A. et al. Ussuriyskiy poligraf – novyy agressivnyy vreditel pikhty v Sibiri [Polygraphus proximus Blandf. is a new aggressive pest of the fir tree in Siberia]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*. [Vestnik of Moscow State Forest University – Vorest Vestnik] 2011. No 4. Pp. 78–81.
11. Krivets S.A., Kerchev I.A., Bisirova E.M. et al. Rasprostranenie ussuriyskogo poligrafa *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) v Sibiri [Propagation of *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) in Siberia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of Saint Petersburg State Forest Academy]. 2015. No 211. Pp. 33–45.
12. Krivets S.A., Bisirova E.M., Kerchev I.A. et al. Transformation of taiga ecosystems in the western siberian invasion focus of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Russian Journal of Biological Invasions*. 2015. Vol. 6. No 2. Pp. 94–108.
13. Pats E.N. Vliyanie ussuriyskogo poligrafa *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) na podrost pikhty sibirskoy v ochagakh invazii v Tomskoy oblasti [The impact of *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) on the undergrowth of Siberian fir in the centers of invasion of the Tomsk region]. *VII Chteniya pamyati O.A. Kataeva: Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii* [The 7th readings in the memory of O.A. Kataev: Proceedings of international conference]. Saint Petersburg: SPbGLTU, 2013. Pp. 72.
14. Pats E.N., Chernova N.A. Izmenenie zhiznennosti podrosta v khode invazii ussuriyskogo poligrafa v pikhtovye lesa Tomskoy oblasti [Viability changes in undergrowth as a result of *Polygraphus proximus* Blandf. invasion in the fir forests of the Tomsk region]. *Interesko GEO-Sibir-2013: Materialy IX Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa* [Interesko GEO-Sibir-2013: Proceedings of the 9th International research congress]. Novosibirsk: SGGA, 2013. Vol. 3. No 4. Pp. 55–59.
15. Pats E.N., Krivets S.A. Rol ussuriyskogo poligrafa *Polygraphus proximus* Blandf. v ukhushenii sostoyaniya estestvennogo vozobnovleniya v povrezhdennykh pikhtovykh lesakh [The role of *Polygraphus proximus* Blandf. in deterioration of the natural reforestation in the damaged fir forests]. *Lesnye biogeotsenozy borealnoy zony: geografiya, struktura, funktsii, dinamika: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 70-letiyu sozdaniya Instituta lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN* [Forest biogeocenose of the boreal area: geography, structure, functions, dynamics: Proceedings of All-Russia research conference with international participants devoted to the 70th anniversary of the Forest Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]. Novosibirsk: SO RAN, 2014. Pp. 655–657.
16. Shabalina O.M., Bezkorovaynaya I.N. Izmenenie osnovnykh komponentov fitotsenoza v ochage massovogo razmnozheniya ussuriyskogo poligrafa (*Polygraphus proximus* Blandf.) na territorii Krasnoyarskogo kraya [Change of the core components of phytocenosis on *Polygraphus proximus* Blandf. breeding ground in the Krasnoyarskiy Territory]. *Lesnye biogeotsenozy borealnoy zony: geografiya, struktura, funktsii, dinamika: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 70-letiyu sozdaniya Instituta lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN* [Forest biogeocenose of the boreal area: geography, structure, functions, dynamics: Proceedings of All-Russia research conference with international participants devoted to the 70th anniversary of the Forest Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences]. Novosibirsk: SO RAN, 2014. Pp. 658–660.
17. Pobedinskiy A.V. Izuchenie lesovosstanovitelnykh protsessov [Research into forest regeneration processes]. Moscow: Nauka, 1966. 64 p.
18. Uspenskiy E.I. Lesovozobnovitelnyy protsess pod pologom melkolistvennykh lesov Srednego Povolzhya [Reforestation process under the canopy of parvifoliate forests in the Middle Volga Region]. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal]. 1987. No 3. Pp. 116–118.
19. Makhatkov I.D. Polivariantnost ontogeneza pikhty sibirskoy [Polivariety of Siberian fir ontogeny]. *Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody* [Bulletin of Moscow nature researchers]. 1991. Vol. 96. Issue 4. Pp. 79–88.
20. Metodicheskie podkhody k ekologicheskoy otsenke lesnogo pokrova v bassejne maloy reki [Methodological approaches to forest canopy evaluation in the small river basin]. edited by L.B. Zaugolnovoy, T.Yu. Braslavskoy. Moscow: Tovari-shchestvo nauchnykh izdaniy. KMK, 2010. 383 p.
21. Lakin G.F. Biometriya [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p.
22. Lugovaya D.L., Smirnova O.V., Zaprudina M.V. et al. Mikromozaichnaya organizatsiya i fitomassa napochvennogo pokrova v osnovnykh tipakh temnokhvoynykh lesov Pechoro-Ilychskogo zapovednika [Micro mosaic organization and phytomass of the ground cover in the basic dar coniferous forest types in Pechoro-Ilychskiy nature reserve]. *Ekologiya* [Ecology]. 2013. No1. Pp. 3–10.
23. Zaprudina M.V. Fitomassa travyano-kustarnichkovogo i mokhovogo yarusov temnokhvoynykh vysokotravnnykh lesov Pechoro-Ilychskogo zapovednika [Phytomass of grass and shrub and moss layers in high grass dark coniferous forest type in Pechoro-Ilychskiy nature reserve]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of Samara research centre of

the Russian Academy of Sciences]. 2010. Vol. 12. No 1(3). Pp. 876–879.

24. Aleynikov A.A., Bovkunov A.D. Mikromozaichnaya organizatsiya krupnopaporotnikovyykh i vysokotravnykh pikhto-elnikov Pechoro-Ilychskogo zapovednika [Micro mosaic organization of the large fern high grass fir and spruce forest of Pechoro-Ilychskiy nature reserve]. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo* [Izvestiy of Penza State Pedagogical

University named after V.G. Belinsky]. 2011. No 25. Pp. 38–46.

25. Pautov Iu.A. Tekhnogennaya struktura vyrubok – osnova tekhnologii lesovosstanovleniya: Ceriya preprintov «Nauchnye rekomendatsii – narodnomu khozyaystvu» [Technogenic structure of cuttings and the basis for forest regeneration method: reprinting series – «Scientific recommendations to national economy»]. Syktyvkar, 1992. Issue. 98. 20 p.

The article was received 21.11.16.

Citation for an article: Debkov N. M. Peculiarities of Forest Regeneration Processes in Fir Forest Caused by Transformation of their Micro Mosaic Organization by *Polygraphus proximus* Blandf. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2017. No 1(33). Pp. 5-16. DOI: 10.15350/2306-2827.2017.1.5

Information about the author

DEBKOV Nikita Mikhailovich – Candidate of Agricultural Sciences, research associate of the laboratory of Forest Ecosystem Monitoring, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – forest regeneration, succession of plants, cedar forest. Author of 70 publications.