

## НОВЫЙ ТИП ЭНТОМОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ СИБИРИ

кандидат сельскохозяйственных наук **Н.М. Дебков**

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Российская Федерация

Инвазии ксилофильной энтомофауны представляют серьезную угрозу биологическому разнообразию лесных экосистем. В статье обобщается воздействие инвазионного короеда – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. на пихту сибирскую *Abies sibirica* Ledeb. на территории южной тайги Западной Сибири в пределах Томской области. Исследования проводились в 2016–2018 гг. на 38 пробных площадях. Оценивалось состояние древесного яруса и естественного возобновления по апробированным методикам. По степени доминантности пихты в верхнем ярусе выделены следующие типы древостоев по составу: монодоминантные (9-10 единиц), умеренно смешанные (6-8 единиц), мультипородные (2-5 единиц). Встречаемость монодоминантных и умеренно смешанных лесов составляет по 36% и полидоминантных – 28%. В результате исследования установлено, что пихтовые леса представлены 3 основными типами леса: осочковый (45%), разнотравный (28%) и мелкотравный (27%). Выявлено, что на 45% площади пихтовых лесов произошла смена на низко- и среднеполнотные ельники и кедровники. Пихта восстановит ценотическое значение в течение 1 поколения. На 27% площади насаждения пихты деградируют до состояния редин, на которых прогнозируется смена на березово-осиновые насаждения с частичным участием пихты на 20-50% площади. И еще на 27% площади доминирование переходит к ели, кедру, березе, но восстановление пихты прогнозируется только на 20-30% площади, на остальной территории будет протекать возобновление лиственных пород.

**Ключевые слова:** уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf., пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb., лесообразовательный процесс, типы леса, инвазии насекомых, южная тайга, Западная Сибирь

## A NEW TYPE OF ENTOMOGENIC SUCCESSION IN THE FIR FORESTS OF SIBERIA

PhD (Agriculture) **N.M. Debkov**

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS)

### Abstract

Xylophilic entomofauna invasions pose a serious threat to the biological diversity of forest ecosystems. The article summarizes the impact of an invasive bark beetle – *Polygraphus proximus* Blandf. on Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb. in the southern taiga of Western Siberia within the Tomsk region. The studies were conducted in 2016–2018 on 38 trial plots. The state of the tree layer and natural regeneration was assessed using the approved methods. According to the degree of fir dominance in the upper tier, the following types of stands were distinguished by the composition: monodominant (9-10 units), moderately mixed (6-8 units), multi-species (2-5 units). The occurrence of monodominant and moderately mixed forests is 36%, and polydominant – 28%. As a result of the study, it was found that fir forests are represented by 3 main types of forests: sedge (45%), forbs (28%) and shallow (27%) one. It was revealed that there was a change to low- and medium-thick spruce forests and cedar forests on 45% of the area of fir forests. Fir will restore coenotic value within 1 generation. They degrade to the state of open stands on 27% of the area of fir plantations, on which a change to birch-aspen plantations with partial participation of fir is predicted to be 20-50% of the area. And another 27% of the area is dominated by spruce, cedar, and birch, but fir recovery is projected to be only 20-30% of the area. Hardwoods will be renewed in the rest of the area.

**Keywords:** *Polygraphus proximus* Blandf., Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb., forest formation process, forest types, insect infestations, southern taiga, Western Siberia

### Введение

Проблема биологических инвазий является широко распространенной по всему миру [12]. Серьезную угрозу она представляет для лесных экосистем [10]. Только на территории России можно привести три ярких примера негативного воздействия инвазивных насекомых: ясеневая изумрудная узкотелая златка *Agrilus planipennis* Fairmaire [13], которая наносит урон видам рода ясень *Fraxinus spp.* на территории европейской части страны, самшитовая огневка *Cydalima perspectalis* Walker [1], которая почти уничтожила реликтовые леса из самшита колхидского *Buxus colchica* Pojark. на Кавказе, и уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf. [2], формирующий очаги массового размножения на громадной площади в Западной и Центральной Сибири в лесах с доминированием и участием пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb.

На фоне происходящих климатических и погодных флуктуаций воздействие инвазивных организмов приводит к сопряженной трансформации биологического разнообразия лесов на всех уровнях [11]. Отмечено, что в начале текущего столетия активизировались процессы деградации хвойных вечнозеленых лесов в бореальной зоне по всей планете [8]. Долгосрочное моделирование прогнозирует увеличение числа инвазий [9]. В связи с этим приходится констатировать, что инвазионные процессы в будущем будут продолжаться, и поэтому возникает необходимость изучения их воздействия на коренную биоту.

Целью исследования являлась разработка схемы сукцессионной динамики пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа.

### Материалы и методы

Исследования проводились в 2016–2018 гг. на территории Томской области – одного из регионов-реципиентов инвазии уссурийского полиграфа. Исследования проведены на 38 пробных площадях (ПП), насаждения которых относились к приспевающей или спелой группам возраста и характеризовались на момент исследования разной степенью нарушенности.

На каждой ПП площадью 0,25 га с количеством деревьев верхнего яруса не менее 100 экземп-

ляров измерялись традиционные параметры (диаметр у всех деревьев, высота и возраст у 20-30 деревьев) с оценкой санитарного состояния по шкале, доработанной под уссурийского полиграфа [3].

Изучение естественного возобновления проводилось по специализированным методическим указаниям [5], модифицированным в соответствии с поставленными задачами. В зависимости от характеристики исследуемых сообществ (площади участка и количественных параметров возобновления) пересчет производился на непрерывных трансектах квадратными учетными площадками по 4 м<sup>2</sup> в количестве 25 штук или прерывистых трансектах на 30 круговых площадках размером 10 м<sup>2</sup>.

При пересчете возобновления учитывались его породный состав, высота, диаметр, возраст, численность, протяженность и проекция кроны, линейные приросты осевого побега и бокового побега I порядка. Также отбирались модельные экземпляры подроста в количестве 3 штук на группу высот для уточнения морфологических характеристик и возраста.

Характер размещения естественного возобновления по площади оценивался с вычислением встречаемости (отношение числа учетных площадок с хотя бы 1 экземпляром подроста к общему числу учетных площадок). С целью изучения пространственного размещения подроста рассчитывался индекс рассеяния, предложенный Р.А. Фишером [6].

Основными параметрами, принятыми в работе и характеризующими жизнеспособный подрост [7], являются соотношение текущего линейного прироста осевого побега и бокового побега I порядка, так называемый экологический коэффициент кроны (более 0,5 для мелкого подроста, 0,7 для среднего и 1 для крупного), протяженность кроны по стволу (более 61%), отношение длины кроны к ширине (более 0,9). Принятые в данной работе значения экологического коэффициента кроны отличны от общепринятых в лесоведении, в связи с особенностями онтогенеза пихты сибирской [4]. В раннем и позднем иматурном 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 благонадежным считалось возобновление, у которого наблюдалось превышение пороговых значений по двум из трех вышеприведенных параметров.

Для оценки топической приуроченности подростка изучалась структурная организация микроместообитаний в лесных сообществах, в соответствии с которой были выделены такие микроместообитания (микросайты), как подкروновые участки живых и мертвых генеративных деревьев (по каждой породе), а также межкروновые участки.

В работе по степени доминантности пихты в верхнем ярусе выделены следующие типы древостоев по составу: монодоминантные (9-10 единиц), умеренно смешанные (6-8 единиц), мультипородные (2-5 единиц).

Обработка собранного материала производилась в программе STATISTICA 10. Помимо стандартных описательных статистик, использовались непараметрические критерии Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса с целью установления достоверности различий показателей.

### Результаты и обсуждение

На исследуемой территории (южная тайга Западной Сибири) преобладают 3 основных типа пихтовых лесов: осочковый (45%), разнотравный (28%) и мелкотравный (27%). Встречаемость монодоминантных и умеренно смешанных лесов составляет по 36%, и мультипородных – 28%.

### Высотная структура естественного возобновления по типам леса

Динамика возобновления в основном определяется типом леса, но существенные коррективы вносит и видовой состав верхнего яруса насаждений (табл. 1).

В осочковом типе леса в составе возобновления преобладает пихта (72П18Е3К7Ос), но значима доля ели. Средняя высота равна  $47,2 \pm 2,7$  см. По отдельным лесообразующим видам она колеблется. Наиболее высокий подрост пихты отмечен в межкроновых участках ( $87,2 \pm 10,2$  см), несколько ниже под живыми пихтами ( $66,4 \pm 7,8$  см) и елями ( $60,0 \pm 37,7$  см). Наиболее низкий подрост под пологом березы ( $37,2 \pm 15,1$  см) и сухостоя пихты ( $48,1 \pm 8,0$  см). Диапазон высот подростка под всеми

типами микроместообитаний различается. Но отмечено, что минимальная высота колеблется от 4 до 15 см, т.е. возобновление идет везде. Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 130 до 230 см. Наиболее крупные пихты располагаются в межкроновых участках (230 см), а подпологовые местообитания достаточно однородны (от 130 до 180 см).

Кедр не отмечен. Ель встречается под кронами пихт и в межкроновых участках, изредка под кронами сухостоя пихты. Ее высотная структура более однородна во всех типах микроместообитаний и варьируется от  $76,7 \pm 28,5$  см до  $108,3 \pm 15,3$  см с лимитами от 20 до 170 см. Подрост осины встречается в основном в межкроновых участках ( $122,5 \pm 19,3$  см). Единично под материнскими деревьями и сухостоем пихты. Варьирование высот от 70 до 160 см.

В разнотравном типе леса в составе возобновления также доминирует пихта, где ее доля даже выше (80П12Е2К6Ос). Средняя высота ниже и равна  $33,2 \pm 1,7$  см. Наиболее высокий пихтовый подрост отмечен под кронами кедров ( $51,2 \pm 5,1$  см). Несколько ниже под живыми ( $36,0 \pm 2,4$  см) и погибшими ( $40,4 \pm 2,5$  см) пихтами, березами ( $34,9 \pm 3,4$  см), а также в межкроновых участках ( $38,9 \pm 2,5$  см). Наиболее низкий подрост пихты под пологом ели –  $15,9 \pm 2,1$  см. Нижний диапазон высот пихтового подростка колеблется от 4 до 10 см, т.е. процессы пополнения возобновления протекают успешно (за исключением участков под кронами кедра, где минимальная высота пихты равна 40 см). Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 30 до 220 см. Наиболее крупные пихты располагаются под кронами живых (105 см) и погибших (135 см) пихт, а также в межкроновых участках (220 см). Под пологом берез (85 см), кедров (60 см) и елей (30 см) пихта не достигает до высоты в 1 м.

Кедр распространен в основном под пихтами (погибшими  $67,2 \pm 10,7$  см и живыми  $40,0 \pm 30,0$  см), изредка по межкроновым участкам ( $90 \pm 10$  см). Т.е. почти под всеми типами микроместообитаний, за исключением материнских деревьев. Его высотная структура более однородна, и лимиты высот от 10 до 110 см. Ель имеет схожую приуроченность, как у кедра, и в среднем ее высота под кронами сухо-

стоя пихты равна  $83,0 \pm 31,1$  см (лимиты 10-160 см), а в межкروновых участках –  $109,2 \pm 21,2$  см. Изредка встречается под кронами живых пихт. Подрост осины встречается в основном в межкроновых участках ( $157,5 \pm 15,3$  см), изредка под елями. Варьирование высот от 130 до 195 см.

В мелкотравном типе леса пихта абсолютно доминирует в составе возобновления (90П4К2Е4Ос).

Средняя высота имеет показатель, аналогичный разнотравному типу ( $33,2 \pm 1,3$  см). Наиболее высокий подрост отмечен под кронами осин ( $44,0 \pm 5,2$  см) и берез ( $34,7 \pm 5,0$  см). Несколько ниже под живыми ( $30,1 \pm 3,0$  см) и погибшими ( $25,4 \pm 2,0$  см) пихтами, а также в межкроновых участках ( $28,5 \pm 2,4$  см). Наиболее низкий подрост под пологом ели –  $17,6 \pm 1,5$  см. Установлено, что минимальная высота колеблется от 3 до 7 см, т. е. возобновление пихты идет везде успешно. Верхний предел имеет очень широкую амплитуду, от 100 до 360 см.

Наиболее крупные пихты располагаются под кронами берез (230 см), живых (170 см) и погибших (210 см) пихт, а также в межкроновых участках (360 см). Под пологом осин и елей не дорастает до высоты в 1 м.

Кедр распространен под всеми типами микросайтов, за исключением материнских деревьев. Его высотная структура однородна под всеми типами микроместообитаний и варьируется от  $13,0 \pm 6,0$  до  $18,7 \pm 3,9$  см с лимитами от 5 до 55 см. Ель встречается крайне редко, и трудно достоверно выявить ее предпочтения, но в среднем ее высота равна  $51,7 \pm 12,0$  см (лимиты 30-110 см). Подрост осины встречается только под кронами живых ( $95,0 \pm 7,4$  см) и погибших ( $85,7 \pm 17,2$  см) пихт, а также наиболее крупный в межкроновых участках ( $145,0 \pm 19,4$  см). Единично под елями. Варьирование высот от 40 до 200 см, причем наиболее крупные приурочены к межкроновым участкам.

Таблица 1

Высотная структура естественного возобновления в пихтовых лесах, поврежденных уссурийским полиграфом, в связи с типами сообществ

Тип сообщества	Вид под-роста	Микроместообитание						Межкروновые
		Под осинной	Под березой	Под елью	Под кедром	Под живой пихтой	Под погибшей пихтой	
МПФМТ	Пихта	$44,0 \pm 5,2$	$34,7 \pm 5,0$	$17,6 \pm 1,5$	–	$22,2 \pm 2,4$	$20,5 \pm 1,3$	$25,4 \pm 2,4$
	Кедр	$18,7 \pm 3,9$	$18,2 \pm 3,6$	$14,6 \pm 5,8$	–	$17,0 \pm 5,7$	$13,0 \pm 6,0$	$18,4 \pm 2,0$
	Осина	–	–	–	–	–	$87,5 \pm 31,5$	$120,0 \pm 10,0$
МДФМТ	Пихта	–	–	–	–	$43,8 \pm 6,5$	$60,7 \pm 11,2$	$43,9 \pm 7,4$
	Осина	–	–	–	–	$95,0 \pm 7,4$	$83,3 \pm 8,8$	–
УСФРТ	Пихта	–	$34,9 \pm 3,5$	$16,3 \pm 2,2$	–	$14,4 \pm 2,9$	$40,2 \pm 3,1$	$35,1 \pm 3,0$
	Кедр	–	–	–	–	–	$75,0 \pm 13,2$	–
МДФРТ	Пихта	–	–	–	$51,2 \pm 5,2$	$39,0 \pm 2,6$	$40,9 \pm 4,5$	$42,9 \pm 4,1$
	Кедр	–	–	–	–	$40,0 \pm 30,0$	$51,7 \pm 18,3$	–
	Ель	–	–	–	–	$37,5 \pm 12,5$	$91,2 \pm 38,7$	$127,0 \pm 14,0$
	Осина	–	–	–	–	–	–	$157,5 \pm 15,3$
МПФОС	Пихта	–	$37,2 \pm 15,1$	$60,0 \pm 37,7$	–	$60,6 \pm 13,8$	$66,4 \pm 7,8$	$70,2 \pm 11,1$
УСФОС	Пихта	–	–	–	–	$36,6 \pm 6,2$	–	$120,3 \pm 18,9$
	Ель	–	–	–	–	–	–	$108,3 \pm 15,3$
	Осина	–	–	–	–	–	–	$116,7 \pm 26,0$
МДФОС	Пихта	–	–	–	–	$14,9 \pm 1,7$	$31,8 \pm 6,8$	$14,5 \pm 1,0$
	Кедр	–	–	–	–	–	$99,2 \pm 33,2$	–

Примечание: МПФМТ – мультипородные фитоценозы мелкотравного типа леса; МДФМТ – монодоминантные фитоценозы мелкотравного типа леса; УСФРТ – умеренно смешанные фитоценозы разнотравного типа леса; МДФРТ – монодоминантные фитоценозы разнотравного типа леса; МПФОС – мультипородные фитоценозы осочкового типа леса; УСФОС – умеренно смешанные фитоценозы осочкового типа леса; МДФОС – монодоминантные фитоценозы осочкового типа леса.

### **Численность естественного возобновления по типам леса**

В осочковом типе леса численность возобновления равна  $1,13 \pm 0,30$  тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами материнских деревьев ( $1,83 \pm 0,38$  тыс. шт./га) и в межкрупных участках ( $1,72 \pm 0,37$  тыс. шт./га). Менее обеспечены микросайты под сухостоем пихты ( $1,41 \pm 0,24$  тыс. шт./га), под пологом березы ( $0,84 \pm 0,22$  тыс. шт./га), ели ( $1,00 \pm 0,41$  тыс. шт./га) и кедра ( $0,22 \pm 0,22$  тыс. шт./га).

Кедр, ель и осина (встречаются в подкрупном пространстве пихты и ее сухостоя, межкрупных участках) редки, и их густота равномерна по типам местообитаний (до  $0,05-0,15$  тыс. шт./га).

В разнотравном типе леса численность возобновления равна  $2,74 \pm 1,14$  тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами берез ( $11,00 \pm 5,00$  тыс. шт./га). Остальные микростообитания также хорошо и равномерно по густоте обеспечены: под елью ( $3,25 \pm 2,29$  тыс. шт./га), под живыми ( $3,37 \pm 0,42$  тыс. шт./га) и погибшими ( $2,21 \pm 0,36$  тыс. шт./га) пихтами, в межкрупных участках ( $2,10 \pm 0,36$  тыс. шт./га).

Кедр и ель редки (встречаются в подкрупном пространстве пихты и ее сухостоя, межкрупных микросайтах), и их густота равномерна по типам местообитаний ( $0,11 \pm 0,06$ ,  $0,17 \pm 0,06$ ,  $0,03 \pm 0,02$  тыс. шт./га по кедровому подросту и  $0,07 \pm 0,05$ ,  $0,11 \pm 0,06$ ,  $0,10 \pm 0,04$  тыс. шт./га по еловому подросту соответственно). Осина отмечена редко под кронами ели ( $0,25 \pm 0,25$  тыс. шт./га) и в межкрупных участках ( $0,03 \pm 0,02$  тыс. шт./га).

В мелкотравном типе леса численность возобновления составляет  $5,05 \pm 1,84$  тыс. шт./га. Наиболее густой подрост пихты отмечен под кронами ели ( $8,42 \pm 1,59$  тыс. шт./га). Менее густой подрост под пологом березы ( $4,69 \pm 1,06$  тыс. шт./га), живых ( $3,44 \pm 0,64$  тыс. шт./га) и погибших ( $4,83 \pm 0,92$  тыс. шт./га) пихт и в межкрупных участках ( $5,07 \pm 0,62$  тыс. шт./га). Менее всего пихты локализовано под осиной ( $2,20 \pm 0,36$  тыс. шт./га) и кедром ( $0,67 \pm 0,33$  тыс. шт./га).

Кедр встречается во всех микростообитаниях (кроме материнских деревьев), причем можно выделить более обеспеченные им межкрупные

участки ( $0,42 \pm 0,17$  тыс. шт./га), под елью ( $0,67 \pm 0,31$  тыс. шт./га), березой ( $0,31 \pm 0,17$  тыс. шт./га) и осиной ( $0,50 \pm 0,22$  тыс. шт./га). Под живыми ( $0,09 \pm 0,07$  тыс. шт./га) и погибшими ( $0,08 \pm 0,05$  тыс. шт./га) пихтами его немного. Осина встречается под кронами живых ( $0,19 \pm 0,08$  тыс. шт./га) и погибших ( $0,20 \pm 0,09$  тыс. шт./га) пихт, в межкрупных микростообитаниях ( $0,09 \pm 0,09$  тыс. шт./га). Ель также отмечена под кронами живых ( $0,06 \pm 0,04$  тыс. шт./га) и погибших ( $0,03 \pm 0,03$  тыс. шт./га) пихт, в межкрупных микростообитаниях ( $0,04 \pm 0,03$  тыс. шт./га) и под осиной ( $0,10 \pm 0,10$  тыс. шт./га).

В целом типологические особенности насаждений определяют численность подроста, но для прогнозирования сукцессионной динамики важно знать особенности протекания возобновительных процессов на уровне микросайтовой структуры сообществ (табл. 2).

### **Особенности пространственного размещения естественного возобновления по типам леса**

В осочковом типе леса встречаемость возобновления самая низкая –  $59 \pm 11\%$ . У пихты самый высокий показатель отмечен под елями (75%). Далее следует встречаемость под березами (56%), живыми (53%) и погибшими пихтами (61%). Меньше всего обеспечены межкрупные участки (49%) и под кронами кедров (11%). Кедр редко встречается (1-5%) под кронами живых и погибших пихт, а также в межкрупных участках. Ель также имеет очень низкую встречаемость (от 2 до 11%) под кронами живых, погибших пихт и в межкрупных участках. Аналогичные показатели отмечены у осины, которая встречается в межкрупных участках и под погибшими пихтами (2-4%). Показатель сгруппированности возобновления свидетельствует о групповом размещении ( $2,2 \pm 0,9$ ). Но пихта имеет групповое размещение только под материнским пологом (3,4) и в межкрупных участках (6,5). В остальных микросайтах она распространена равномерно ( $0,2-0,9$ ). Остальные породы имеют равномерное размещение ( $0,1-0,3$ ).

В разнотравном типе леса встречаемость возобновления выше ( $71 \pm 20\%$ ). Пихта имеет высокую встречаемость в половине микростообитаний: под кедром, березой, пихтой (от 89 до 100%). Несколько ниже под елью – 75%, и меньше всего

под погибшими пихтами (60 %) и в межкروновых участках (55 %). Кедр чаще всего встречается под погибшими (15 %) и живыми пихтами (11 %) и очень редко в межкроновых участках (3 %). Ель по-прежнему характеризуется очень низкой встречаемостью (от 7 до 8 %) под кронами живых и погибших пихт и в межкроновых участках. Осина преимущественно встречается (25 %) под кронами елей и очень редко в межкроновых участках (3 %). Сгруппированность возобновления имеет показатель, аналогичный осочковому типу леса ( $2,1 \pm 0,6$ ). Пихта имеет выраженное групповое размещение также практически под всеми типами микросайтов (от 1,7 до 5,6), за исключением материнских деревьев (1,0). Причем повышенная сгруппированность отмечена под елью (5,6). Остальные породы имеют равномерное размещение ( $0,1-0,2$ ).

В мелкотравном типе леса встречаемость возобновления самая высокая ( $94 \pm 2$  %). Пихта имеет высокую встречаемость практически под всеми типами микроместообитаний (от 88 до 100 %), за исключением подкroновых участков кедра (67 %). Кедр чаще всего встречается под осиной (40 %) и елью (33 %), ниже встречаемость под пологом березы (23 %) и в межкroновых участках (20 %). Низкая встречаемость отмечается под живыми (6 %) и погибшими (9 %) пихтами. Ель имеет очень низкую встречаемость (от 3 до 10 %). Осина отмечена (от 31 до 44 %) под кронами живых и погибших пихт, а также в межкroновых участках. Сгруппированность возобновления составляет  $2,2 \pm 1,1$ , т. е. имеет групповой характер. При этом пихта имеет выраженное групповое размещение практически под всеми типами микроместообитаний (от 3,1 до 5,5), за исключением подкroновых пространств осины (0,3). Наиболее высокая сгруппированность отмечена в межкroновых участках (4,0) и под погибшими пихтами (5,5). Кедр имеет групповое размещение только в межкroновых участках (1,3). В остальных микросайтах его размещение равномерное ( $0,2-0,3$ ). Аналогичные показатели имеют ель и осина. Опираясь на полученные результаты по анализу высотной структуры, динамике численности, встречаемости и сгруппированности естественного возобновления по типам леса и

микроместообитаниям, можно дать оценку дальнейшей сукцессионной динамики пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа. Разработанная нами схема лесообразовательного процесса пихтовых насаждений (рис. 1) содержит 7 линий динамики из 9 потенциально возможных. Остается открытым вопрос о протекании сукцессионной динамики в умеренно-смешанных фитоценозах мелкотравного типа леса и мультипородных фитоценозах разнотравного типа леса.

Выявлено, что основными типами сообществ являются УСФОС (27 %), МПФМТ (18 %), МДФРТ (18 %). Остальные 4 типа равными долями распространены на 36 % площади пихтовых лесов. Сукцессионная динамика в МПФМТ при сильном повреждении пихтового элемента леса уссурийским полиграфом в зависимости от соотношения пород в исходном составе будет идти в направлении преобладания в верхнем ярусе ели или кедра. Снижение сомкнутости крон приведет к активизации ростовых процессов у естественного возобновления, которое представлено преимущественно пихтой густотой 5-7 тыс. шт./га (при встречаемости 90-100 %) высотой 0,2-0,25 м и имеет ярко выраженное групповое размещение. Динамика будет происходить в межкroновых микроместообитаниях и под погибшими пихтами.

Присутствующий на 7-10 % площади данных микроместообитаний равномерно размещенный более мелкий (до 0,2 м) кедровый подрост будет подавлен пихтой (особенно учитывая, что его густота до 0,15 тыс. шт./га) и не составит ей конкуренции. Осина же, которая имеет несколько большую встречаемость (7-14 %), несмотря на свое равномерное размещение и невысокую густоту (до 0,15 тыс. шт./га), сможет войти в верхний ярус, поскольку ее стартовая высота значительно выше (0,9-1,2 м), чем у подростка пихты.

Сукцессионная динамика в МДФМТ приводит к практически полной деградации верхнего яруса (формируется редина). Ввиду того, что естественное возобновление представлено преимущественно пихтой густотой 1,5-2,5 тыс. шт./га (при встречаемости 80-100 %) высотой 0,4-0,6 м, то она и войдет в основу будущего молодняка.

Численность естественного возобновления в пихтовых лесах, поврежденных уссурийским полиграфом, в связи с типами сообществ

Тип сообщества	Вид подростка	Микроместообитание						
		Под осиной	Под березой	Под елью	Под кедром	Под живой пихтой	Под погибшей пихтой	Межкрупные
МПФМТ	Пихта	2,54±0,41	4,69±1,06	8,33±1,51	–	5,00±1,26	6,90±1,35	6,52±0,83
	Кедр	0,45±0,21	–	–	–	0,14±0,14	0,09±0,06	0,07±0,05
	Ель	0,09±0,09	–	–	–	–	–	–
	Осина	–	–	–	–	–	0,19±0,11	0,07±0,05
МДФМТ	Пихта	–	–	–	0,67±0,33	2,22±0,36	1,67±0,14	2,29±0,14
	Ель	–	–	–	–	0,06±0,06	0,17±0,11	0,12±0,08
	Осина	–	–	–	–	0,22±0,13	0,25±0,18	0,12±0,08
УСФРТ	Пихта	–	11,00±5,00	3,25±2,29	–	3,40±1,03	3,13±0,63	4,19±0,87
	Кедр	–	–	–	–	–	0,26±0,11	0,12±0,09
	Ель	–	–	–	–	–	0,09±0,06	0,06±0,25
МДФРТ	Пихта	–	–	–	–	3,63±0,46	1,30±0,33	1,37±0,33
	Кедр	–	–	–	–	0,14±0,07	0,06±0,04	–
	Ель	–	–	–	–	0,09±0,06	0,13±0,09	0,11±0,06
	Осина	–	–	–	–	–	–	0,09±0,04
МПФОС	Пихта	–	0,75±0,33	0,75±0,49	–	2,33±1,20	3,00±0,54	1,82±0,40
УСФОС	Пихта	–	1,00±0,23	–	–	0,32±0,09	0,59±0,18	0,57±0,12
	Кедр	–	0,11±0,11	–	–	0,03±0,03	0,07±0,05	0,03±0,02
	Ель	–	–	–	–	0,09±0,05	0,07±0,05	0,19±0,06
	Осина	0,50±0,50	–	–	–	–	0,04±0,04	0,04±0,02
МДФОС	Пихта	–	–	–	–	3,74±0,78	1,14±0,40	7,07±1,90
	Кедр	–	–	–	–	0,04±0,04	0,86±0,55	0,07±0,07

Присутствующий на 6-17 % площади микро-сайтов равномерно размещенный с идентичной высотой (0,5 м) еловый подрост частично будет подавлен пихтой (особенно учитывая, что его густота до 0,05-0,15 тыс. шт./га), но частично примет участие в формировании нового древостоя. Осина же, которая имеет несколько большую встречаемость (12-22 %), несмотря на свое равномерное размещение и невысокую густоту (0,12-0,25 тыс. шт./га), сможет войти в верхний ярус, поскольку ее стартовая высота значительно выше (0,8-0,9 м), чем у подростка пихты.

Сукцессионная динамика в УСФРТ приводит к сильному изреживанию древостоя (примерно в 2 раза относительно доинвазионного состояния). Вследствие этого наблюдается усиление роста в высоту у подростка, в котором доминирует пихта густотой 3-4 тыс. шт./га (при встречаемости 74-88 %) высотой 0,3-0,4 м. Присутствующий на 13-22 % площади микроместообитаний равномерно

размещенный более крупный (0,7-0,9 м) кедровый подрост примет участие в формировании нового поколения в качестве примеси ввиду невысокой густоты (0,12-0,26 тыс. шт./га). Аналогичная ситуация складывается и по еловому подросту (встречаемость 6-9 %, высота 0,8-1,1 м, густота 0,06-0,09 тыс. шт./га).

Сукцессионная динамика в МДФРТ приводит к практически полному усыханию древостоя (остаются единичные деревья). Имеющийся подрост в основном состоит из пихты, но недостаточной густоты 1,0-1,5 тыс. шт./га (при встречаемости 43-50 %) высотой 0,4-0,45 м. Участие в формировании нового древостоя примет кедровый (высота 0,5 м, густота 0,06 тыс. шт./га, встречаемость 10 %), еловый (высота 0,9-1,2 м, встречаемость 7-9 %, густота 0,11-0,13 тыс. шт./га) и осиновый подрост (высота 1,6 м, встречаемость 9 %, густота 0,09 тыс. шт./га).

Сукцессионная динамика в МПФОС приводит к преобладанию в древостое других лесообразователей (чаще всего ели или кедра). Под погибшими пихтами имеется удовлетворительное количество пихтового подроста (1,8-3,0 тыс. шт./га, встречаемость 88-100%, высота 0,65-0,70 м).

Сукцессионная динамика в МДФОС характеризуется практически полной деградацией древесного яруса с единичными деревьями. Вариабельность естественного возобновления высокая, но доминирует пихта густотой 1,1-7,1 тыс. шт./га (при встречаемости 39-71 %) высотой 0,15-0,30 м. Присутствующий на 7-29 % площади микросайтов равномерно размещенный более крупный (1 м) кедровый подрост густотой 0,86 тыс. шт./га примет участие в формировании нового древостоя.

Сукцессионная динамика в УСФОС приводит к формированию редкостойных древостоев, на 60-70 % площади которых отсутствует естественное возобновление, на остальной имеется смешанный подрост пихты (высота 1,2 м, густота 0,57-0,59, встречаемость 33-37 %), ели (высота 1,1 м, густота 0,07-0,19, встречаемость 7-16 %) и осины (высота 1,2 м, густота 0,04, встречаемость 4 %).

Период исследований совпал с пандемией сибирского шелкопряда, которая началась с 2015 года. На некоторых объектах была проведена оценка влияния шелкопряда на поврежденные уссурийским полиграфом насаждения. Например, в самом распространенном типе УСФОС наибольший урон нанесен именно пихтовому подросту (поврежденность 95% со степенью объедания  $90,3 \pm 3,4$  %). Поврежденность кедрового подроста несколько меньше (85 %), но степень объедания выше –  $96,0 \pm 1,9$ %. Еловый подрост пострадал несколько меньше (80%), но его объедание не носило катастрофического характера ( $22,5 \pm 4,8$  %). Таким образом, учитывая, что сибирский шелкопряд воздействует на всю экосистему, включая подрост, можно с уверенностью сказать, что он представляет собой более мощный энтомогенный фактор. В связи с этим приведенная схема сукцессионной динамики применима до момента пандемии сибирского шелкопряда, равно как и в случае воздействия пирогенного фактора.

### Выводы

С момента официального признания инвазии уссурийского полиграфа – дальневосточного короеда (2008 год) в леса Сибири прошло более 10 лет. За прошедшее время проведены исследования энтомологической и лесоводственной направленности, которые показали, что инвайдер более агрессивен по сравнению с коренными ксилофагами пихты сибирской. Закономерным результатом этого стало включение 9-13 марта 2014 года в г. Вена на заседании группы экспертов Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР) в перечень карантинных организмов уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus*. В результате проведенных исследований на примере Томской области установлено, что на 45% площади пихтовых лесов произошла смена пихты на ель и кедр, что можно квалифицировать как положительное явление. Однако ввиду того, что под пологом этих насаждений присутствует в достаточном количестве и качестве подрост с абсолютным преобладанием пихты, данная смена носит временный характер, и прогнозируется восстановление доминирующей роли пихты в течение 1 поколения. На 27 % площади насаждения пихты деградируют до состояния редины, где восстановление пихты будет частичным (20-50 %), и основное направление лесообразовательного процесса будет идти в сторону формирования длительно-производных разреженных вторичных молодняков с преобладанием березы и осины. И еще на 27 % площади доминирование временно переходит к ели, кедру, березе, но восстановление пихты прогнозируется только на 20-30 % площади, на остальной будет протекать возобновление пионерных пород и их постепенное вращание в верхний полог, т.е. будут формироваться смешанные хвойно-лиственные древостои с участием пихты.

Предложенная схема сукцессионной динамики пихтовых лесов в инвазионном (вторичном) ареале уссурийского полиграфа позволяет зонировать лесной фонд регионов-реципиентов и на типологической основе планировать и проводить лесохозяйственные мероприятия, направленные на минимизацию ущерба от воздействия инвазивного короеда.



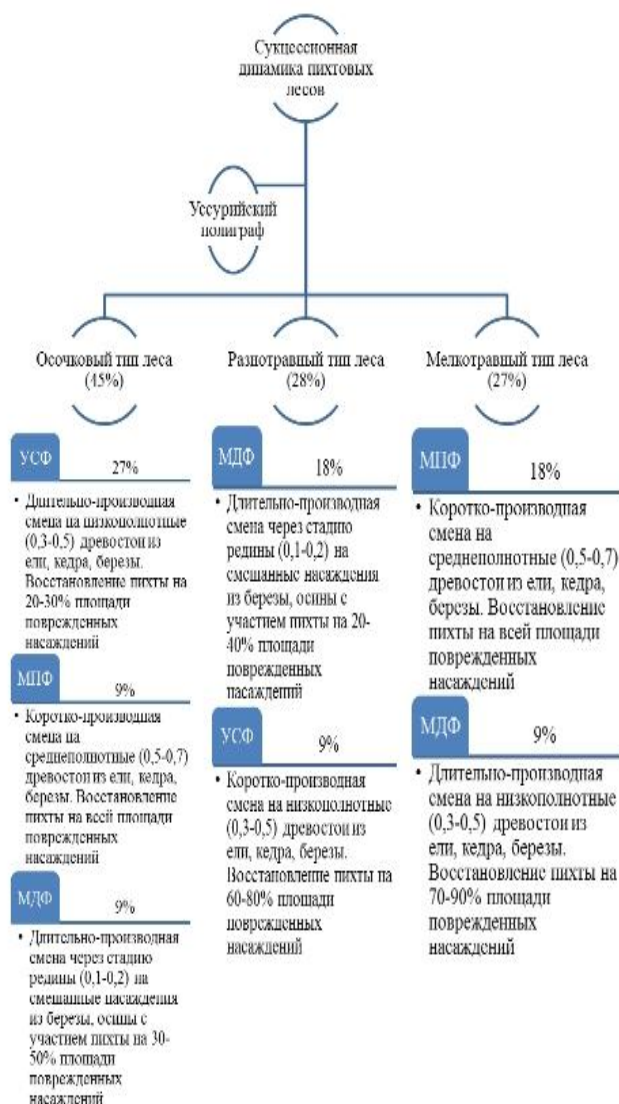


Рис. 1. Влияние уссурийского полиграфа на лесообразовательный процесс пихтовых лесов

## Библиографический список

1. Гниненко, Ю. И. Самшитовая огневка – новый инвазивный организм в лесах российского Кавказа / Ю. И. Гниненко, Н. В. Ширяева, В. И. Щуров // Карантин растений. Наука и практика. – 2014. – № 1(7). – С. 32–36.
2. Трансформация таёжных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae*) в Западной Сибири / С. А. Кривец, Э. М. Бисирова, И. А. Керчев [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. – 2015. – № 1. – С. 41–63.
3. Уссурийский полиграф в лесах Сибири: распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений / С. А. Кривец, И. А. Керчев, Э. М. Бисирова [и др.]. – Томск-Красноярск, 2015. – 48 с.
4. Махатков, И. Д. Пространственная структура ценопопуляций пихты сибирской в черневых пихтовых лесах Салаира : специальность 03.00.05 «Ботаника» : дис. ... канд. биол. наук : защищена 27.10.98 / Махатков Игорь Дмитриевич. – Новосибирск, 1998. – 125 с.

5. Побединский, А. В. Изучение лесовосстановительных процессов / А. В. Побединский. – Москва, 1966. – 64 с.
6. Свалов, С. Н. Применение статистических методов в лесоводстве / С. Н. Свалов // Лесоведение и лесоводство. – 1985. – Т. 4. – С. 1–164.
7. Успенский, Е. И. Лесовозобновительный процесс под пологом мелколиственных лесов Среднего Поволжья / Е. И. Успенский // Лесной журнал. – 1987. – № 3. – С. 116–118.
8. 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 Ecology and Management*. – 2010. – Vol. 259. – No. 4. – P. 660–684.
9. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? / J. S. Dukes, J. Pontius, D. Orwig [et al.] // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2010. – Vol. 39. – No. 2. – P. 231–248.
10. Will threat of biological invasions unite the European Union? / P. E. Hulme, P. Pysek, W. Nentwig, M. Vila // *Science*. – 2009. – Vol. 324. – P. 40–41.
11. Ecological effects of invasive alien insects / M. Kenis, M.-A. Auger-Rozenberg, A. Roques [et al.] // *Biological Invasions*. – Vol. 11. – No. 1. – P. 21–45.
12. Poland, T. M. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource / T. M. Poland, D. G. McCullough // *Journal of Forestry*. – 2006. – Vol. 104. – No. 3. – P. 118–124.
13. Distribution, impact and rate of spread of emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in the Moscow region of Russia / N. A. Straw, D. T. Williams, O. Kulinich, Y. I. Gninenko // *Forestry*. – 2013. – Vol. 86. – No. 5. – P. 515–522.

### References

1. Gninenko Yu. I., Shiryayeva N. V., Shchurov V. I. *Samshitovaya ognevka – novyy invazivnyy organizm v lesah rossijskogo Kavkaza* [Box tree moth – a new invasive organism in the forests of the Russian Caucasus]. *Karantin rastenij. Nauka i praktika* [Plant Health. Research and Practice], 2014, no. 1(7), pp. 32–36 (in Russian).
2. Krivec S. A., Kerchev I. A., Bisirova E. M. et al. *Ussurijskij poligraf v lesah Sibiri: rasprostranenie, biologiya, ekologiya, vyyavlenie i obsledovanie povrezhdennyh nasazhdenij* [Four-eyed fir bark beetle in Siberian forests (distribution, biology, ecology, detection and survey of damaged stands)]. Tomsk – Krasnoyarsk, 2015. 48 p. (in Russian).
3. 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). *Rossijskij zhurnal biologicheskikh invazij* [Russian Journal of Biological Invasions], 2015, Vol. 6, no. 2, pp. 94–108 (in Russian).
4. Mahatkov I. D. *Prostranstvennaja struktura cenopopuljacij pihty sibirskoj v chernevyh pihtovyh lesah Salaira*. Dis. kand. biol. nauk [The spatial structure of populations of Siberian fir in the dark fir forests of the Salair. PhD biol. sci. diss]. Novosibirsk, 1998. 125 p. (in Russian).
5. Pobedinskij A. V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nyh processov* [The study of forest regeneration processes]. Moscow: Nauka, 1966. 64 p. (in Russian).
6. Svalov S. N. *Primenenie statisticheskikh metodov v lesovodstve* [The application of statistical methods in forestry]. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forestry and silviculture], 1985, Vol. 4, pp. 1–164 (in Russian).
7. Uspenskij E. I. *Lesovozobnovitel'nyj process pod pologom melkolistvennyh lesov Srednego Povolzh'ja* [Forest forming process under canopy small-leaved forest of middle Volga region]. *Lesnoj zhurnal* [Forest journal], 1987, no. 3, pp. 116–118 (in Russian).

8. 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 Ecology and Management*, 2010, Vol. 259, no. 4, pp. 660-684.

9. Dukes J. S., Dukes J. S., Pontius J. et al. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 2010, Vol. 39, no. 2, pp. 231-248.

10. Hulme P. E., Pysek P., Nentwig W., Vila M. Will threat of biological invasions unite the European Union? *Science*, 2009, Vol. 324, pp. 40-41.

11. Kenis M., Auger-Rozenberg M.-A., Roques A. et al. Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions*, Vol. 11, no. 1, pp. 21-45.

12. Poland T. M., McCullough D. G. Emerald ash borer: invasion of the urban forest and the threat to North America's ash resource. *Journal of Forestry*, 2006, Vol. 104, no. 3, pp. 118-124.

13. Straw N. A., Williams D. T., Kulinich O., Gninenko Y. I. Distribution, impact and rate of spread of emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in the Moscow region of Russia. *Forestry*, 2013, Vol. 86, no. 5, pp. 515-522.

### Сведения об авторе

Дебков Никита Михайлович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Российская Федерация; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru.

### Information about the author

Debkov Nikita Mihailovich – PhD (Agriculture), researcher of the laboratory of monitoring of forest ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru.