

УДК 630\*2:630\*5:516.86

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.42

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СХЕМЫ ТИПОВ ЛЕСА СОСНЯКОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ  
НА ОСНОВЕ РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

*М.В. Устинов<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

*О.И. Глушенков<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, дир. «Заплеспроект»*

*Р.С. Корсиков<sup>2</sup>, зл. инж. «Заплеспроект»*

<sup>1</sup>Брянская государственная инженерно-технологическая академия, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: mvustinov@mail.ru

<sup>2</sup>Филиал «Заплеспроект» ФГУП «Рослесинфорг», ул. Никитина, д. 14, г. Брянск, Россия, 241021; e-mail: mail@zaples.ru

В связи со сложными геологическими условиями территории Брянской области, важным вопросом является совершенствование схемы типов леса, применяемой лесоустройством. При описании участков лесного фонда основополагающими показателями являются: тип леса – по В.Н. Сукачеву; тип лесорастительных условий – по П.С. Погребняку; класс бонитета – по бонитеровочным шкалам М.М. Орлова. Эти три классификации, имея свои достоинства и недостатки, твердо вошли в практику лесного хозяйства. Цель исследований – определение взаимосвязей типов лесорастительных условий и классов бонитета и уточнение на их основе действующей схемы типов леса сосняков естественного происхождения в лесах области. Объектом исследований являются насаждения естественного происхождения с преобладанием в древостое сосны обыкновенной. Для моделирования динамики высот древостоев сосны использована характеристика 47 181 насаждения, в составе древостоев которых преобладает сосна обыкновенная естественного происхождения. Площадь этих сосняков составляет 177 093 га. Насаждения представлены шестнадцатью типами лесорастительных условий ( $A_0...A_5$ ,  $B_2...B_5$ ,  $C_2...C_5$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ). Разработана математическая модель динамики высот сосновых древостоев по типам лесорастительных условий. Все коэффициенты уравнения для типов лесорастительных условий, почв по классам продуктивности и средней температуры самого теплого месяца в году получены на уровне значимости  $\alpha < 0,05$ ;  $R^2 = 0,914$ . Отклонения средних высот, вычисленных по математической модели, от средних высот древостоев на пробных площадях составляют  $\pm 0,5\%$ . С помощью модели динамики высот уточнены возможные классы бонитета сосняков по типам лесорастительных условий. Полученные результаты позволили уточнить для лесов Брянской области действующую схему типов леса.

*Ключевые слова:* тип лесорастительных условий, тип леса, класс бонитета, математическое моделирование, высота.

Современная типология леса является результатом длительного развития, в которое вложен труд нескольких поколений ученых и практиков лесоводов – Г.Ф. Морозов [7], Е.В. Алексеев [1], Д.В. Воробьев [2], В.Г. Нестеров [8], П.С. Погребняк [10], М.Е. Ткаченко [18], В.Н. Сукачев [13, 14, 15],

Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов [4], Б.П. Колесников [3], И.С. Мелехов [6], А.С. Тихонов [17], работы и имена которых хорошо известны широкому кругу специалистов. Подробное описание формирования учения о лесной типологии сделано в работах Л.П. Рысина [11]. В России, при описании участков леса, основополагающими показателями являются: тип леса, определяемый на основе принципов, предложенных В.Н. Сукачевым [15]; тип лесорастительных условий (ТЛУ), определяемый на основе принципов, предложенных П.С. Погребняком [10]; класс бонитета – по бонитерочным шкалам, разработанным М.М. Орловым [9]. Известно, что каждая из трех классификаций имеет свои достоинства и недостатки.

Так, В.Н. Седых отмечает, что в лесной типологии, основоположником которой является В.Н. Сукачев, фитоценотическая часть типа леса и его составляющая – лесорастительные условия – не имеют четких критериев для их выделения на аэрокосмических снимках. В основе типологической схемы «украинской школы» лежат четкие критерии для выделения типов леса по трофности и влажности почвы, но их определение также возможно только наземными методами [12, с. 75]. Из сказанного следует, что тип леса не может идентифицироваться на аэрокосмических снимках.

Относительно типов леса, типов лесорастительных условий (ТЛУ) и классов бонитета В.К. Хлюстов отмечает, что каждая из упомянутых классификаций по своей сути автономна и находит отражение в материалах лесоустройства в виде отдельных граф таксационных описаний [21, с. 6]. Однако при оценке насаждения, таксаторы руководствуются схемой типов леса, в которой предусмотрена взаимосвязь типов леса, ТЛУ и классов бонитета между собой по породам. Нужно отметить, что «в основу типологической характеристики лесных земель Брянской области положена комплексная биогеоценотическая классификация типов леса и типов лесорастительных условий, разработанная доктором сельскохозяйственных наук, профессором Б.В. Гроздовым специально для условий Брянской области, уточненная и дополненная на основании многолетних данных Западного государственного лесоустроительного предприятия и кафедры лесоводства БГИТА (проф. А.С. Тихонов), как наиболее полно отражающая сущность взаимосвязи различных лесообразующих факторов. Эта классификация построена с учетом совокупности всех видов растительности на территории, занятой древостоем. ... Принятая схема включает 25 типов леса» [5, с. 27].

Тем не менее, применяя эту классификацию при проведении лесоустройства лесов области, практики отмечают, что встречается много насаждений, при оценке которых тип леса, ТЛУ или класс бонитета не соответствуют взаимосвязям между собой, предусмотренным в действующей схеме типов леса. Например, в ТЛУ – А<sub>3</sub>, согласно действующей схеме типов леса, могут произрастать сосняки I и II классов бонитета по шкале М.М. Орлова. Фактически встречаются сосняки и I<sup>a</sup> класса бонитета.

Между ТЛУ и классами бонитета существует связь, которая выражается в том, что значению одного признака соответствует одно или несколько вполне определенных значений другого. Например, в сосняках брусничниках (ТЛУ – В<sub>2</sub>) формируются высокопроизводительные сосновые насаждения I<sup>a</sup>-II классов бонитета, тогда как в сосняках осоко-сфагновых (ТЛУ – А<sub>5</sub>) – низкопроизводительные насаждения V-V<sup>a</sup> классов бонитета и т. д.

Изложенное предопределило цель исследования – определение взаимосвязей ТЛУ и классов бонитета и уточнение на их основе действующей схемы типов леса сосняков естественного происхождения в лесах области. Поставленная цель вызвана производственной необходимостью. Уточненная схема позволит контролировать правильность определения ТЛУ и класса бонитета при таксации сосновых насаждений.

Первоначальной задачей является моделирование динамики высот древостоев сосны по ТЛУ от возраста с учетом почвенно-климатических факторов, второй задачей – сопоставление динамики высот сосняков по ТЛУ, вычисленных по математической модели, с высотами классов бонитета по шкале М.М. Орлова. Решение поставленных задач позволит выявить по каждому ТЛУ следующее: сосняки каких классов бонитета могут произрастать в них.

Объектом исследования являлись сосняки естественного происхождения. Исследования проводили в лесном фонде Брянской области, общая площадь которого насчитывает 1 208,9 тыс. га. В их составе земли, покрытые лесной растительностью, занимают 1 128,1 тыс. га, или 93 %. На этих землях 47 181 таксационный выдел общей площадью 177 093 га, которую занимают насаждения с преобладанием в древостоях первого яруса сосны обыкновенной естественного происхождения. Для контроля результатов, получаемых по математической модели динамики высот сосняков, заложено 407 пробных площадей (ПП). Количество ПП закладывали пропорционально площадям, занимаемым соответствующим ТЛУ. Закладка ПП выполнена во всех лесничествах области. По каждому ТЛУ пробные площади закладывали в разных по возрасту сосняках, разным количеством единиц сосны в составе и с разной относительной полнотой.

Для решения *первой задачи* насаждения упомянутых таксационных выделов были распределены по шестнадцати ТЛУ. По каждому ТЛУ проведена проверка на нормальность распределения количества выделов по высоте с использованием статистик Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро–Уилка. Результаты, полученные на уровне значимости  $\alpha < 0,05$ , подтверждают нормальность распределения высот, что дает право применять к каждой выборке статистические методы оценки и методы математического анализа, включая множественную регрессию. Перед построением математической модели динамики высот древостоев сосны выполнен корреляционный анализ на наличие парных корреляционных связей высоты с 34 переменными, учтенными при ресурсно-экологическом районировании лесов Брянской области [19]. Из них корреляционную связь с высотой древостоя имеют относительная полнота древостоя ( $r = 0,32$ ), коэффициент сосны в составе древостоя первого

яруса ( $r = 0,38$ ), средняя температура самого теплого месяца в году ( $r = 0,38$ ), а также почвы по классам продуктивности:  $\Pi_1$  – торфяные ( $r = 0,32$ );  $\Pi_2$  – дерново-подзолистые песчаные ( $r = -0,43$ );  $\Pi_4$  – дерново-подзолистые суглинистые ( $r = -0,41$ );  $\Pi_5$  – дерново-подзолистые среднесуглинистые пылеватые на покровных отложениях ( $r = -0,36$ );  $\Pi_6$  – серые лесные и черноземы оподзоленные среднесуглинистые пылеватые на покровных отложениях ( $r = 0,46$ ). Почв класса продуктивности  $\Pi_3$  на территории области нет. Отмеченные корреляции значимы на уровне  $\alpha < 0,05$ . Несмотря на слабую корреляцию, названные переменные включены в математическую модель динамики высот, так как, например, между среднегодовой температурой воздуха и приростом древостоев сосны по высоте существует связь, а среднегодовые температуры воздуха в границах области не одинаковы [20]. Статистическая обработка материала и моделирование динамики высот выполнено с использованием программ Statistika v.6.1 и Microsoft Excel 2013. Разработанная математическая модель динамики высот сосны является единой для всех ТЛУ и работает для возраста насаждений от 20 до 200 лет.

$$H = \exp(-4,35289 + K + 1,9761 \cdot \ln(A) - 0,06538 \cdot (\ln(A))^2 - 0,01577 \cdot (\ln(A))^3 + 0,00006 \cdot (\ln(A))^4 + 0,08857 \cdot \ln(P) - 0,66488 \cdot \ln(\Pi_1) + 0,09206 \cdot \ln(\Pi_2) + 0,23778 \cdot \ln(\Pi_4) - 0,06684 \cdot \ln(\Pi_5) + 0,12512 \cdot \ln(\Pi_6) - 0,0082 \cdot \ln(T)).$$

Уравнение значимо, поскольку критерий Фишера  $F_{\text{факт}} = 9\,917,7$  при уровне значимости  $\alpha < 0,05$ ; коэффициент детерминации  $R^2 = 0,914$ .

Принятые в математической модели обозначения:

$H$  – средняя высота соснового древостоя первого яруса, м;

$K$  – коэффициент для соответствующего ТЛУ (табл. 1);

$A$  – возраст соснового древостоя первого яруса, лет;

$P$  – относительная полнота древостоя;

$\Pi_{1,2,4,5,6}$  – переменная соответствующего класса почв, % (табл. 2);

$T$  – средняя температура наиболее теплого месяца в году, °С (табл. 2).

В случаях, когда переменные  $\Pi_1$  и/или  $\Pi_5$  равны 0, то логарифм этих переменных и множитель при них из уравнения исключаются.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $K$  для соответствующих ТЛУ

ТЛУ	$K$	ТЛУ	$K$	ТЛУ	$K$	ТЛУ	$K$
$A_0$	0	$A_4$	-0,03583	$B_4$	0,09624	$C_4$	0,16254
$A_1$	0,05956	$A_5$	-0,52675	$B_5$	-0,18847	$C_5$	-0,09271
$A_2$	0,28317	$B_2$	0,33326	$C_2$	0,40428	$D_2$	0,41937
$A_3$	0,32873	$B_3$	0,31916	$C_3$	0,39601	$D_3$	0,41583

Примечание.  $A_0 \dots D_3$  – типы лесорастительных условий, определяемые на основе принципов, предложенных П.С. Погребняком; по степени богатства почв: бедные – боры (А), относительно бедные – суборы (В), богатые – сложные суборы (С), очень богатые – дубравы (Д); по степени влажности почв: 0 – очень сухие, 1 – сухие, 2 – свежие, 3 – влажные, 4 – сырые, 5 – мокрые (болота).

Таблица 2

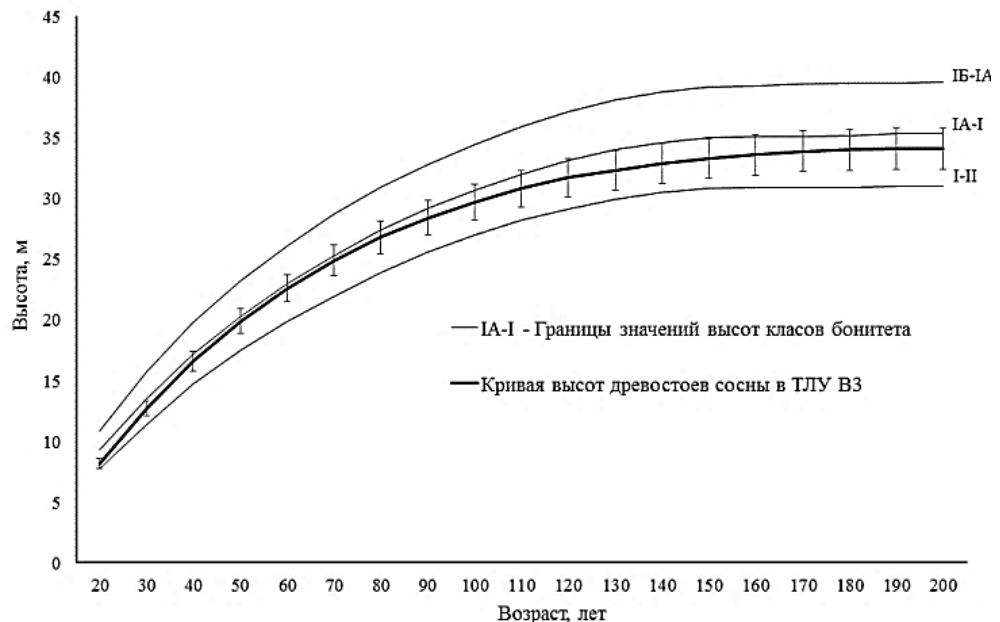
**Значения переменных для классов продуктивности почв  
и средних температур наиболее теплого месяца в году  
по ресурсно-экологическим лесным районам (РЭЛР) Брянской области [19]**

Переменная	Значение переменной по РЭЛР						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
П <sub>1</sub> , %	1,2	0	0	1,2	1,2	0	0
П <sub>2</sub> , %	23,7	61,7	20,1	23,7	23,7	61,7	16,1
П <sub>4</sub> , %	51,2	10,9	20,4	51,2	51,2	10,9	6,7
П <sub>5</sub> , %	15,3	5,7	20,9	15,3	15,3	5,7	0
П <sub>6</sub> , %	8,6	21,7	38,6	8,6	8,6	21,7	77,2
T, °C	18,75	17,9	17,9	18,75	18,75	17,90	18,85

Проверка качества разработанной математической модели выполнена путем сравнения высот сосны, полученных по модели, с высотами сосны, полученными на ПП. При этом среднее отклонение высот сосны по всем ТЛУ составляет  $\pm 0,5\%$ , что подтверждает правильность работы модели динамики высот.

*Вторую задачу* решали путем наложения средних значений высот с границами варьирования отклонений высот в пределах  $\pm 3\sigma$  сосняков по шестнадцати ТЛУ, вычисленных по математической модели, на высоты классов бонитета по шкале М.М. Орлова, уточненные и аппроксимированные до 260 лет [16].

Пример такого наложения высот древостоев сосны для ТЛУ – В<sub>3</sub> в границах III ресурсно-экологического лесного района, в который входят Жуковское, Выгоничское и Почепское лесничества, показано на рисунке.



Динамика высоты древостоев сосны в ТЛУ – В<sub>3</sub> в границах значений высот по шкале классов бонитета М.М. Орлова, уточненных и аппроксимированных до 260 лет [16]

Наложение высот позволило по каждому ТЛУ выявить в каком возрасте и каких классов бонитета могут произрастать древостой сосны.

В табл. 3 по РЭЛР приведены классы бонитетов и возрастные периоды (в скобках), в пределах которых насаждения оцениваются соответствующим классом бонитета. Классы бонитета по ТЛУ приведены последовательно, в соответствии с частотой встречаемости сосновых насаждений соответствующих классов бонитета в лесах области.

Таблица 3

**Классы бонитета относительно ТЛУ у сосняков в лесах Брянской области**

ТЛУ	По действующей схеме типов леса Брянской области	По РЭЛР				Рекомендуемые по области	Различия
		I, IV, V	II, VI	III	VII		
A <sub>0</sub>	IV, III	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(100-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-75)</sub> IV <sub>(95-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-100)</sub>	III, II, IV	Есть
A <sub>1</sub>	III, IV	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(100-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	III, II, IV	Есть
A <sub>2</sub>	II, I	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(40-100)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(30-100)</sub>	I, II, I <sup>a</sup>	Есть
A <sub>3</sub>	I, II	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(50-100)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(30-200)</sub> II <sub>(90-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(30-200)</sub>	I, I <sup>a</sup> , II	Есть
A <sub>4</sub>	III, IV, V	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(60-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-70)</sub> IV <sub>(75-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-90)</sub> IV <sub>(90-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-90)</sub> IV <sub>(85-200)</sub>	III, IV, II	Есть
A <sub>5</sub>	V, V <sup>a</sup>	V <sub>(20-90)</sub> V <sup>a</sup> <sub>(80-200)</sub> IV <sub>(20-50)</sub>	V <sub>35-200</sub> IV <sub>20-40</sub> V <sup>a</sup> <sub>100-200</sub>	V <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(20-70)</sub> V <sup>a</sup> <sub>(90-200)</sub>	V <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(20-75)</sub> V <sup>a</sup> <sub>(85-200)</sub>	V, IV, V <sup>a</sup>	Есть
B <sub>2</sub>	I, II, I <sup>a</sup>	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(30-200)</sub> II <sub>(90-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20)</sub>	I, I <sup>a</sup> , II	Нет
B <sub>3</sub>	I, II	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(55-90)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(30-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> II <sub>(105-200)</sub>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(25-200)</sub> II <sub>(105-200)</sub>	I, I <sup>a</sup> , II	Есть
B <sub>4</sub>	II, III, IV, V	III <sub>(20-200)</sub> II <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(100-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-200)</sub>	II, III, IV	Есть
B <sub>5</sub>	IV, V	IV <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-70)</sub> V <sub>(90-200)</sub>	IV <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-90)</sub> V <sub>(95-200)</sub>	IV <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-105)</sub>	IV <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-100)</sub>	IV, III, V	Есть
C <sub>2</sub>	I <sup>a</sup> , I, II, I <sup>б</sup>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>б</sup> <sub>(50-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>б</sup> <sub>(45-200)</sub>	I <sup>a</sup> , I, I <sup>б</sup>	Есть

Окончание табл. 3

ТЛУ	По действующей схеме типов леса Брянской области	По РЭЛР				Рекомендуемые по области	Различия
		I, IV, V	II, VI	III	VII		
С <sub>3</sub>	I <sup>a</sup> , I, I <sup>b</sup>	I <sub>(20-200)</sub> I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(45-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(40-200)</sub>	I <sup>a</sup> , I, I <sup>b</sup>	Нет
С <sub>4</sub>	II, III	II <sub>(20-200)</sub> III <sub>(20-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> III <sub>(110-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> III <sub>(90-200)</sub>	II <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> III <sub>(90-200)</sub>	II, III, I	Есть
С <sub>5</sub>	III, IV	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(20-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(45-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(65-200)</sub>	III <sub>(20-200)</sub> IV <sub>(65-200)</sub>	III, IV	Нет
Д <sub>2</sub>	I <sup>a</sup> , I <sup>b</sup> , I, II	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(50-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(45-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(40-200)</sub>	I <sup>a</sup> , I, I <sup>b</sup>	Есть
Д <sub>3</sub>	I <sup>b</sup> , I <sup>a</sup> , I	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(50-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(50-200)</sub>	I <sup>a</sup> <sub>(20-200)</sub> I <sub>(20-200)</sub> I <sup>b</sup> <sub>(30-200)</sub>	I <sup>a</sup> , I, I <sup>b</sup>	Нет

Данные табл. 3 показывают, что высоты сосновых древостоев в ТЛУ В<sub>2</sub>, С<sub>3</sub>, С<sub>5</sub>, Д<sub>3</sub>, вычисленные по разработанной модели динамики высот, соответствуют тем же классам бонитета, что и в действующей схеме типов леса, а в остальных ТЛУ могут произрастать насаждения сосны, оцениваемые классами бонитета, которые не учтены в действующей схеме типов леса.

#### Выводы

1. Разработанная математическая модель позволяет определять высоты древостоев сосны по ТЛУ с учетом комплекса переменных – возраста и относительной полноты древостоя, коэффициента сосны в составе первого яруса древостоя, площадей почв по классам продуктивности и средней температуры самого теплого месяца в году, которые в разной мере, в границах области, оказывают влияние на рост сосны в высоту.

2. Значимость и достоверность разработанной модели подтверждается критерием Фишера  $F_{\text{факт}} = 9\,917,7$ , при уровне значимости  $\alpha < 0,05$ , показателем высокой тесноты корреляционной связи ( $R^2 = 0,914$ ) и результатами проверки по данным пробных площадей.

3. Разработанная математическая модель динамики высот позволила обосновать взаимосвязь ТЛУ с классами бонитета сосняков естественного происхождения, что дало возможность уточнить действующую схему типов леса для сосняков Брянской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Е.В.* Об основных понятиях лесоводственной типологии: докл. К.: Лесн. секция с.-х. СХНК Украины, 1927. 24 с.
2. *Воробьев Д.В.* Типы лесов европейской части СССР. К.: АН УССР, 1953. 449 с.
3. *Колесников Б.П.* Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение. 1974. № 2. С. 3–20.
4. *Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практ. руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1973. 176 с.
5. Лесной план Брянской области на 2009–2018 гг./Разработчик БГИТА, руководитель Ф.В. Кишенков (Внесены изменения: филиал «Заплеспроект» ФГУП «Рослесинфорг»). Брянск: Заплеспроект, 2010. 567 с.
6. *Мелехов И.С.* Лесная типология. М.: МЛТИ, 1976. 73 с.
7. *Морозов Г.Ф.* Учение о типах насаждений. СПб., 1914. 184 с.
8. *Нестеров В.Г.* Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 656 с.
9. *Орлов М.М.* Типология в лесоустройстве // Лесн. журн. 1917. Вып. 4–6. С. 168–186.
10. *Погребняк П.С.* Основы лесной типологии. 2-е изд., испр. и доп. К.: АН УССР, 1955. 455 с.
11. *Рысин Л.П.* Лесная типология в СССР. М.: Наука, 1982. 216 с.
12. *Седых В.Н.* Ландшафтно-типологическая основа для проведения лесоустройства на территории Сибири //Лесная таксация и лесоустройство/ Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 2005. Вып. 1(34). 2005. С. 70–77.
13. *Сукачев В.Н.* Дендрология с основами лесной геоботаники: учеб. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1934. 614 с.
14. *Сукачев В.Н.* Краткое руководство к исследованию типов леса. М.: Новая деревня, 1927. 150 с.
15. *Сукачев В.Н.* Избранные труды. В 3-х томах // Под ред. Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1972. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. 419 с.
16. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) // Рук. работ А.З. Швиденко. Изд. 2-е, доп. М.: Междунар. Ин-т прикл. системного анализа, Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, МГУЛ, М., 2008. 886 с.
17. *Тихонов А.С.* Лесоведение: учеб. пособие для студентов вузов. 2-е изд. Калуга: ГП «Облиздат», 2011. 332 с.
18. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство. 2-е изд., испр. и доп. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 599 с.
19. *Устинов М.В., Устинов М.М.* Ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области // Вестн. Поволжского гос. технол. ун-та. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2014. № 3(23). С. 18–28.
20. *Устинов М.В., Устинов С.М.* Рост сосны обыкновенной в высоту в условиях хронического радиоактивного загрязнения // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Под общей ред. Е.А. Памфилова. Вып. 39. Брянск: БГИТА, 2014. С. 88–91.
21. *Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В.* Многомерные закономерности текущей актуализации таксационных показателей древостоев: Лесотаксационный справ.: учеб. пособие // М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. 141 с.

Поступила 13.05.15



UDC 630\*2:630\*5:516.86

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.42

**Mathematical Modeling of the Scheme of the Pine Forest Types of Bryansk Region on the Basis of the Resource and Ecological Zoning**

*M.V. Ustinov<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*O.I. Glushenkov<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences*

*R.S. Korsikov<sup>2</sup>, Chief Engineer*

<sup>1</sup>Bryansk State Engineering Technological Academy, S. Dimitrov ave., 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: mvustinov@mail.ru

<sup>2</sup>Zaplesproekt, Branch of Federal State Unitary Enterprise Roslesinforg, Nikitin str., 14, Bryansk, 241021, Russian Federation; e-mail: mail@zaples.ru

Due to the complex geological conditions of Bryansk region, an important issue is the improvement of the forest types scheme used by the forest management. The fundamental indicators in the description of the forest areas are a forest type sensu V.N. Sukachev; a forest site type sensu P.S. Pogrebnik; a quality class according to the scales of M.M. Orlov. These three classifications, with their advantages and disadvantages, are firmly included in the practice of forestry. The purpose of the research is to define the relationship between the forest site types and the quality classes, and refinement of the existing scheme of the pine forest types of natural origin in the forests of the region. The objectives of the research are the plantations of natural origin with a predominance of Scots pine. The features of 47181 plants are used to simulate the dynamics of height of pine forest stands. Scots pine of natural origin is dominated in the structure of these stands. The area of these pine forests is 177093 ha. Plantings are represented by sixteen forest site types (A<sub>0</sub>...A<sub>5</sub>, B<sub>2</sub>...B<sub>5</sub>, C<sub>2</sub>...C<sub>5</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>). The mathematical model of the height dynamics of pine stands according to the forest site types is developed. All the coefficients of the equation for the forest site types, soil productivity classes and the average temperature of the warmest month in the year are obtained at the significance level of  $\alpha < 0.05$ ;  $R^2 = 0.914$ . The deviations of average height calculated according to the mathematical model, from an average height of forest stands in the experimental plots are  $\pm 0.5$  %. The possible quality classes of pine forests according to the forest site types are defined with the use of a model of the height dynamics. The obtained results allowed us to clarify the scheme of the forest types in Bryansk region.

*Keywords:* forest site type, forest type, quality class, mathematical modeling, height.

REFERENCES

1. Alekseev E.V. *Ob osnovnykh ponyatiyakh lesovodstvennoy tipologii* [On the Basic Terms of Silvicultural Typology]. Kiev, 1927. 24 p.
2. Vorob'ev D.V. *Tipy lesov evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Types of the European Part of the USSR]. Kiev, 1953. 449 p.
3. Kolesnikov B.P. Geneticheskiy etap v lesnoy tipologii i ego zadachi [Genetic Stage in the Forest Typology and Its Objectives]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1974, no. 2, pp. 3–20.
4. Kolesnikov, B.P., Zubareva, R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest Growth Conditions and the Forest Types of Sverdlovsk Region]. Sverdlovsk, 1973. 176 p.

5. *Lesnoy plan Bryanskoy oblasti na 2009–2018 gg.* [The Forest Plan of Bryansk region in 2009–2018]. Bryansk, 2010. 567 p.
6. Melekhov I.S. *Lesnaya tipologiya* [Forest Typology]. Moscow, 1976. 73 p.
7. Morozov G.F. *Uchenie o tipakh nasazhdeniy* [Teaching of the Types of Growth]. Saint Petersburg, 1914. 184 p.
8. Nesterov V.G. *Obshchee lesovodstvo* [General Forest Science]. Moscow; Leningrad, 1954. 656 p.
9. Orlov M.M. *Tipologiya v lesoustroystve* [Typology in the Forest Management]. *Lesnoy zhurnal*, 1917, no. 4–6, pp. 168–186.
10. Pogrebnyak P.C. *Osnovy lesnoy tipologii* [Principles of Forest Typology]. Kiev, 1955. 455 p.
11. Rysin L.P. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest Typology in the USSR]. Moscow, 1982. 216 p.
12. Sedykh V.N. *Landschaftno-tipologicheskaya osnova dlya provedeniya lesoustroystva na territorii Sibiri* [Landscape and Typological Basis of the Forest Management in Siberia]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Inventory and Forest Management], 2005, vol. 1(34), pp. 70–77.
13. Sukachev V.N. *Kratkoe rukovodstvo k issledovaniyu tipov lesa* [Quick Guide to the Study of the Forest Types]. Moscow; Leningrad, 1927. 150 p.
14. Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the Basics of Forest Geobotany]. Moscow, 1934. 614 p.
15. Sukachev V.N. *Izbrannyye trudy. V 3-kh tomakh* [Selectas. In 3 volumes]. Ed. by E.M. Lavrenko. *T. 1: Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Volume 1: Fundamentals of Forest Typology and Biogeocenology]. Leningrad, 1972. 419 p.
16. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy)* [Tables and Models of Growth and Productivity of Stands of the Main Forest-Forming Species of Northern Eurasia]. Moscow, 2008. 886 p.
17. Tikhonov A.S. *Lesovedenie* [Forest Science]. Kaluga, 2011. 332 p.
18. Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow; Leningrad, 1955. 599 p.
19. Ustinov M.V., Ustinov M.M. *Resursno-ekologicheskoe rayonirovanie lesov Bryanskoy oblasti* [Resource and Ecological Forests Zoning in Bryansk Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2014, no. 3(23), pp. 18–28.
20. Ustinov M.V., Ustinov S.M. *Rost sosny obyknovnoy v vysotu v usloviyakh khronicheskogo radioaktivnogo zagryazneniya* [Height Growth of Scots Pine under Conditions of Chronic Radioactive Impurity]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual Problems of the Timber Complex]. Ed. by E.A. Pamfilov. Bryansk, 2014, no. 39, pp. 88–91.
21. Khlystov V.K., Ustinov M.M., Khlystov D.V. *Mnogomernyye zakonomernosti tekushchey aktualizatsii taksatsionnykh pokazateley drevostoev* [Multidimensional Patterns of Current Actualization of the Taxational Parameters of Forest Stands]. Moscow, 2013. 141 p.

Received on May 13, 2015