

- Moscow. KDU. 2009. 720 p. [in Russian]
6. Ivlev A. M. The soils of Sakhalin. Moscow. Nauka. 1965. 114 p. [in Russian]
7. Ivlev A. M. The features of the genesis and biogeochemistry of the Sakhalin soils. Moscow. Nedra. 1977. 143 p. [in Russian]
8. Kordyukov A. V. Water protective role of forests basins of small rivers of Sakhalin. *Vestnik DVO RAN*. 2014. No 3. pp.61–69 [in Russian]
9. Kostenkov N. M. et al. Classification and characteristics of soils of the North–Sakhalin lowland. *Agrarnaya politika i tehnologiya proizvodstva selskohozyaystvennoy produktsii v stranah Aziatsko-Tihookeanskogo regiona. Mater. mezhdunar. nauch. konf. T. 2. Zemledelie i prirodoobustroystvo*. Ussuriysk. 2002. pp.78–84 [in Russian]
10. Field guide of soils of Russia. Moscow. Publishing house of Soil Institute named after V. V. Dokuchayev. 2008. 182 p.
11. Sabirov R. N., Sabirova N. D. Post-fire forest regeneration succession in Sakhalin. *Prirodnyie resursyi i ekologiya Dalnevostochnogo regiona. Mater. mezhdunar. nauchno-prakt. Foruma*. Habarovsk. Izd. TGU. 2013. pp.175–180 [in Russian]
12. Smirnov A. A., Dobrynin A. P. Productivity of the Floodplain Forests on the Sakhalin Island. *Izvestiya vyisshih uchebnyih zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2014. No 2. pp. 144–149 [in Russian]
13. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4-th edition. Boca Raton. CRS Press. 2011. 548 p.

УДК 630\*56:630\*18

**М. В. Устинов, А. А. Соломников**

## **МОДЕЛИ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОСНЯКОВ В СВЕЖИХ БОРАХ С УЧЕТОМ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**Ключевые слова:** древостой, математическое моделирование, высота, диаметр, запас, природно-экологические факторы.

*Отмечается, что лес, будучи средообразующим фактором и активно влияя на все процессы эволюции биосферы, и сам претерпевает изменения по видовому составу древостоев, в приростах по таксационным признакам, в количественных и качественных показателях древесины и по другим признакам. Пик разработки нормативно-справочных материалов наблюдался еще в 80-е годы прошлого столетия. Количественные и качественные характеристики современных древостоев, оценённые по действующим ТХР, влекут за собой неприемлемые лесопользователями ошибки при оценке древостоев. Цель – разработка математических моделей роста сосняков естественно-го происхождения в свежих борах с учетом природно-экологических факторов и таксационных показателей лесного фонда. Задачи: выявление природно-экологических факторов, влияющих на показатели отдельных таксационных признаков сосновых древостоев в условиях свежих боров; разработка математических моделей динамики таксационных показателей этих древостоев с учетом выявленных взаимосвязей природно-экологических факторов с таксационными признаками древостоев. Использована характеристика 8207 таксационных выделов, 35 ПП и 34 переменных, включая и природно-экологические факторы. Выявлены взаимосвязи природно-экологических факторов с таксационными признаками древостоев. Впервые для сосняков с использованием выявленных взаимосвязей разработаны математические модели, таблицы динамики основных таксационных показателей древостоев, уточнены возможные классы бонитета в действующей схеме типов леса для лесов Брянской области, которые предложены производству.*

M. Ustinov, A. Solomnikov

## MODELS OF GROWTH AND PRODUCTIVITY OF PINERIES IN PINE FORESTS AND ENVIRONMENTAL FACTORS

**Keywords:** pine forest, mathematical modeling, height, diameter, stock, natural and environmental factors.

*It is noted that the forest, being an environmental factor and actively influencing all the processes of evolution of the biosphere, and itself undergoes changes in the species composition of stands, in the growth of taxational characteristics, in the quantitative and qualitative indicators of wood and other features. The peak of the development of normative reference materials was observed in the 80s of the last century. Quantitative and qualitative characteristics of modern stands, evaluated according to the current TCR, entail unacceptable errors in the evaluation of forest stands by forest users. The aim is to develop mathematical models of growth of pine forests of natural origin in fresh forests, taking into account natural and environmental factors and taxation indicators of the forest Fund. Objectives: identification of natural and environmental factors affecting the performance of individual taxation characteristics of pine stands in fresh forests; development of mathematical models of the dynamics of taxation indicators of these stands, taking into account the identified relationships of natural and environmental factors with the taxation characteristics of stands. Used feature 8207 forest areas, 35 PP and 34 variables, including natural environmental factors. The interrelations of natural and ecological factors with the taxation characteristics of forest stands are revealed. For the first time, for pine forests, using the identified relationships, developed mathematical models, tables of dynamics of the main taxation indicators of stands, clarified the possible classes of authority in the current scheme of forest types for forests of the Bryansk region, which are offered to production.*

**Устинов Михаил Васильевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Лесное дело»; e-mail: mvustinov@mail.ru

*Mikhail V. Ustinov, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of «Forestry business» Chair; e-mail: mvustinov@mail.ru*

**Соломников Андрей Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Лесное дело»; e-mail: kaf-ld@bgitu.ru

*Andrey A. Solomnikov, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of «Forestry business» Chair; e-mail: kaf-ld@bgitu.ru*

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, 3

*FSBEI HE «Bryansk State Engineering and Technology University», 3, Stanke Dimitrov Prospekt, Bryansk, 241037, Russia.*

**Введение.** Взаимосвязи многих компонентов природы показывают, что лес, будучи средообразующим фактором и активно влияя на все процессы эволюции биосферы, и сам претерпевает изменения по видовому составу древостоев, в приростах по таксационным признакам, в количественных и качественных показателях древесины и по другим признакам.

В настоящее время при лесоучётных и лесохозяйственных работах применяются нормативно-справочные материалы, пик разработки которых наблюдался

еще в 80-е годы прошлого столетия. Более того, построение таблиц хода роста (ТХР) выполнено по данным насаждений, созданных еще в начале XIX века. За это время произошли заметные изменения климата на Земле, влияющие на рост насаждений. Подтверждением сказанному являются исследования С. Н. Сеннова [2, 3], по результатам которых одной и вероятной причиной увеличения текущего прироста он считает изменение климата, и явно ставит под сомнение постоянство условий внешней среды, принятое за кон-

станту при составлении существующих таблиц хода роста.

Следовательно, количественные и качественные характеристики современных древостоев, оценённые по действующим ТХР, влекут за собой неприемлемые лесопользователями ошибки при оценке древостоев. При этом, более актуальными являются не нормативы в виде таблиц, а математические модели, описывающие ростовые процессы как совокупностей, так и отдельных растений с учётом природно-экологических факторов.

**Цель исследований** – разработка математических моделей роста сосняков естественного происхождения в свежих борах Брянской области с учетом природно-экологических факторов и таксационных показателей лесного фонда. Поставленная цель вызвана производственной необходимостью, так как из 8207 выделов сосняков, произрастающих в свежих борах области, 4464 выделов, или 54%, находятся в юго-западных и западных районах области, которые больше всех загрязнены радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году.

Первоначальной задачей является выявление природно-экологических факторов, влияющих на показатели отдельных таксационных признаков сосновых древостоев в условиях свежих боров. Вторая задача заключается в разработке математических моделей динамики таксационных показателей этих древостоев по результатам данных массовой таксации леса с учетом выявленных взаимосвязей природно-экологических факторов с таксационными признаками древостоев.

**Объектом исследования** являются древостои с преобладанием Сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного происхождения в 8207 выделах на площади 25599 га в типе лесорастительных условий (ТЛУ) – свежий бор ( $A_2$ ) в лесном фонде Брянской области.

**Предметом исследования** являются закономерности динамики таксацион-

ных показателей древостоев с преобладанием Сосны обыкновенной естественного происхождения в свежих борах с учетом воздействия природно-экологических факторов.

**Методика исследований.** При исследовании использован принцип системного подхода, учитывающий как взаимосвязи между признаками в древостоях, так и факторы, эти взаимосвязи определяющие. В силу новых подходов (учет природно-экологических факторов) к прогнозированию ростовых процессов древостоев, признания географической дифференциации условий ведения хозяйства, моделирование динамики таксационных показателей (высота, диаметр, объем ствола и др.) выполнялось с учетом деления территории лесного фонда на типичные лесные районы на основе комплекса факторов, включая природно-экологические. Для этого было задействовано 34 переменных ( $X_1$ - $X_{34}$ ), которые рассмотрены при комплексном ресурсно-экологическом лесном районировании (РЭЛР) области [4, 7].

Для контроля результатов, получаемых по математическим моделям динамики таксационных показателей сосняков в ТЛУ  $A_2$ , заложено 35 пробных площадей (ПП). ПП закладывались пропорционально площадям, занимаемым соответствующим ТЛУ во всех лесничествах области. По каждому ТЛУ пробные площади закладывались в сосняках, разных по возрасту, с разным количеством единиц сосны в составе древостоев, с разной относительной полнотой древостоев. Объем экспериментальных данных достаточен для обеспечения достоверности и обоснованности разрабатываемых математических моделей.

Экспериментальный материал обработан с использованием современных методов прикладной статистики, математического моделирования и анализа по программе STATISTICA 6.1 и электронным таблицам «Microsoft Excel», а также других, общеизвестных в лесной таксации методов.

**Результаты исследований.** Решая первую задачу, отметим, что в лесной таксации тесная взаимосвязь таксационных признаков между собой хорошо известна. Поэтому нами выявлялись их корреляционные связи с природно-экологическими факторами путем составления матрицы парных корреляционных связей.

Так, анализ корреляционной связи высоты древостоя с 34 переменными ( $X_1-X_{34}$ ) показал наличие связи с переменными соответствующего класса почв ( $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6$ ), отображающих количество площади почв по классам продуктив-

ности, полнотой древостоев (P) и средней температурой самого теплого месяца года (T) [7]. Используя числовые значения вышеупомянутых переменных, имеющих корреляционную связь с основными таксационными признаками древостоев сосны, нами разработаны математические модели динамики высот, диаметров, запасов древостоев и объемов стволов деревьев.

Приведённые ниже модели динамики средних высот (H) и средних диаметров на высоте ствола 1,3 м от земли (D) являются едиными для всех РЭЛР Брянской области.

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

Оценочные критерии:  $F=9917,7$  при уровне значимости  $b < 0,05$ ;  $R^2=0,914$ .

$$D = \exp(-4,55959 + K_D + 0,15339 \times \ln(A) + 0,35167 \times (\ln(A))^2 - 0,04328 \times (\ln(A))^3 + 0,00002 \times (\ln(A))^4 - 0,04678 \times \ln(P) + 0,19437 \times \ln(\Pi_1) + 0,38691 \times \ln(\Pi_2) + 0,520 \times \ln(\Pi_4) - 0,10414 \times \ln(\Pi_5) + 0,47604 \times \ln(\Pi_6) - 0,06896 \times \ln(T)) \quad (2)$$

Оценочные критерии:  $F=7011,7$  при  $P < 0,05$ ;  $R^2=0,883$ .

В математических моделях (1) и (2):

H – средняя высота древостоя, м;

D – средний диаметр древостоя на высоте 1,3 м, см;

$K_H$  – коэффициент для соответствующего ТЛУ: для  $A_2 = 0,28317$ ;

$K_D$  – коэффициент для соответствующего ТЛУ: для  $A_2 = 0,22561$ ;

A – возраст древостоя, лет;

P – относительная полнота древостоя;

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

T – средняя температура наиболее тёплого месяца,  $^{\circ}C$  (табл. 1).

Примечание. При значениях переменных  $\Pi_1$  и/или  $\Pi_5$ , равным 0, эти переменные и множитель при них из уравнения исключаются.

**Таблица 1** – Значения переменных в математических моделях высот и диаметров для групп почв ( $\Pi_{1,2,4,5,6}$ ) и средние температуры наиболее тёплого месяца (T) по РЭЛР [20]

Переменные	Значения переменных по РЭЛР						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$\Pi_1$	1,2	0	0	1,2	1,2	0	0
$\Pi_2$	23,7	61,7	20,1	23,7	23,7	61,7	16,1
$\Pi_4$	51,2	10,9	20,4	51,2	51,2	10,9	6,7
$\Pi_5$	15,3	5,7	20,9	15,3	15,3	5,7	0
$\Pi_6$	8,6	21,7	38,6	8,6	8,6	21,7	77,2
T	18,75	17,9	17,9	18,75	18,75	17,9	18,85

Примечание: Группы почв  $\Pi_3$  на территории области нет



тическую модель динамики средних объемов стволов отпада.

Исследуя динамику средних объёмов стволов отпада, выявлена очень тесная

$$V_{\text{ств.отп.}} = 0,000006 \times D^3 + 0,0002 \times D^2 - 0,0015 \times D - 0,00001. \quad R^2 = 0,988, \quad (5)$$

где:  $V$  ств. отп. – объём ствола дерева, отнесенного в отпад,  $m^3$ ;

$D$  – средний диаметр древостоя растущей части, см.

Провести сравнительную оценку объемов стволов, получаемых по математической модели, не представляется возможным из-за отсутствия сопоставимых данных.

Другие таксационные показатели хода роста сосновых древостоев естественного происхождения определяются по общеизвестным в лесной таксации взаимосвязям признаков и способам с использованием показателей, полученных по разработанным математическим моделям (1-5). Пределы работы моделей – 20...200 лет.

**Заключение.** Исследования роста и производительности сосняков по ТЛУ позволяют для соответствующих лесорастительных условий в границах любого РЭЛР и даже лесничества математически обоснованно:

1) получать показатели хода роста древостоя с участием сосны в составе от 5 до 10 единиц при относительной полноте от 0,3 до 1,0 по каждому варианту доли сосны в составе;

2) скорректировать интенсивность изреживания при проведении рубок ухода за лесом с учётом оптимизации пользования древесиной;

3) на основе приростов уточнить возраст спелости (естественную, количественную и др.) сосны обыкновенной.

По результатам исследований впервые предложены математические модели, учитывающие природно-экологические факторы, оказывающие воздействие на количественные и качественные показатели древостоев. По разработанной модели динамики высот уточнены возможные классы бонитета в действующей схеме типов леса для лесов Брянской области [6]. Производству предложены норма-

их корреляционная связь от средних диаметров стволов деревьев растущей части древостоя. Аналогичный вывод отмечается и в работе Г. В. Чиркова [8].

тивы хода роста естественных древостоев с преобладанием в составе Сосны обыкновенной при относительной полноте 1,0 [5].

Полученные в ходе исследований результаты расширяют современные знания о моделировании динамики таксационных показателей древостоев.

#### Библиографический список

1. Дударев А. Д. Итоги 30-летних лесоводственно-таксационных наблюдений на постоянных пробных площадях в Брянском опытном лесничестве / Научные записки Воронеж. лесотехн. инст. – 1967. – Т. 15. – С. 121-128.
2. Сеннов С. Н. Лесоведение и лесоводство. – М: Академия, 2005. – 256 с.
3. Сеннов С. Н. Тенденции роста южно-таежных лесов северо-запада / Лесоведение. – 1996. – № 4. – С. 68-70.
4. Устинов М. В., Устинов М. М. Общность и специфичность факторов при районировании лесов Брянской области // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 58-65.
5. Устинов М. В., Хлюстов В. К. Таблицы хода роста сосняков естественного происхождения по типам лесорастительных условий Брянской области. – Брянск: Изд-во Брянского гос. инж.-технол. университета, 2015. – 70 с.
6. Устинов М. В., Глушенков О. И., Корсиков Р. С. Математическое моделирование схемы типов леса сосняков Брянской области на основе ресурсно-экологического районирования / Лесной журнал. – 2016. – № 3/351. – С.42-52.
7. Хлюстов В. К., Устинов М. В. Комплексное ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2013. – 201 с.
8. Чирков Г. В. Закономерности формирования древесного отпада в хвойных дре-

востоях Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Санкт-Петербург, 2004. – 20 с.

1. Dudarev A. D. Results of 30-year-old forestry-taxation observations on permanent sample plots in the Bryansk experimental forestry. *Nauchnyezapisky Voronezh. lesotekhn. Instituta*. 1967. Vol. 15. pp. 121-128 [in Russian]

2. Sennov S. N. Forest studies and forestry. Moscow. *Academiya*. 2005. 256 p. [in Russian]

3. Sennov S. N. Growth trends of south-taiga forests of the north-west. *Lesovedenie*. 1996. No 4. pp. 68-70. [in Russian]

4. Ustinov M. V., Ustinov M. M. Commonness and specificity of factors during Bryansk region forests' zoning. *Biosfernaya sovместimost: chelovek, region, tekhnologii*. 2015. No 4 (12). pp. 58-65 [in Russian]

5. Ustinov M. V., Khlyustov V. K. Tables of the growth course of pine forests of natural origin at types of forest conditions of the Bryansk region. *Bryansk.Izd-voBryanskogogos.inzh.-tekhnol. universiteta*. 2015. 70 p. [in Russian]

6. Ustinov M. V., Glushenkov O. I., Korsikov R. S. Mathematical modeling of the scheme of the pine forest types of Bryansk Region on the basis of the resource and ecological zoning. *Lesnoy zhurnal*. 2016. No 3/351. С. 42-52 [in Russian]

7. Khlyustov V. K., Ustinov M. V. Complex resource and ecological zoning of forests in the Bryansk Region. Moscow. *Izd-vo RGAU-MSHA imeni K. A. Timiryazeva*. 2013. 201 p. [in Russian]

8. Chirkov G.V. Objective laws of tree mortality formation in coniferous stands of the Leningrad region. Candidate's dissertation abstract. St. Petersburg. 2004. 20 p. [in Russian]

УДК 630.22\*630.5

А. И. Чудецкий

## СОСТОЯНИЕ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗОБНОВЛЕНИЯ В МОЛОДЫХ СОСНОВО-ЕЛОВЫХ КУЛЬТУРАХ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Ключевые слова:** ель, смешанные лесные культуры, лесные насаждения, возобновление, подрост, рубки ухода, жизнеспособность.

В статье приведены результаты исследований состояния деревьев ели в составе 23-летних смешанных сосново-еловых культур. Исследования проводились в юго-западной части Костромской области в кисличной группе типов леса на суглинистых дерново-подзолистых почвах. Приведено сравнение состава культур в возрасте 5 и 23 лет. Число стволов ели на участках 23-летних культур с расположением рядов лесных культур с севера на юг ниже, чем при расположении рядов с запада на восток. Подрост ели высотой от 0,5 м и более встречается на прогалинах, его наибольшее количество (1325 шт./га) – на участке лесных культур с расположением рядов с севера на юг без проведения прочисток, на других участках количество подроста значительно меньше. Возобновление ели высотой до 0,5 м наблюдается в междурядьях, его наибольшее количество (3175 шт./га) – на участке с расположением рядов с севера на юг с проведенными прочистками. Отмечено влияние лесоводственных мероприятий, пространственного размещения культур и доли участия ели в составе культур на характер возобновления. Установлены полиномиальные зависимости численности возобновления ели в разных группах высот от доли участия породы в составе насаждений. Средняя категория жизнеспособности деревьев ели по всем участкам – 4,4 из 6 баллов, что свидетельствует о признаках угнетения ели в древостое. Для улучшения состояния деревьев ели в смешанных сосново-еловых культурах в 23-летнем возрасте для условий юго-западной части Костромской области рекомендуется проведение рубок ухода: на участке с расположением рядов с севера на юг с проведенными прочистками – с интенсивностью 10%; на участке с расположением рядов с запада на восток без проведенных прочисток – с интенсивностью 20%.