

УДК 630.5(571.51)

UDC 630.5(571.51)

**ПРОГНОЗНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДИАМЕТРОВ И ИХ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ****PROGNOSTIC EQUATIONS DIAMETERS AND THEIR MEAN SQUARE DEVIATIONS OF PINE FOREST STANDS OF KRASNOYARSK FOREST-STEPPE**

Кузьмичев Валерий Васильевич  
д.б. н., профессор

Kuz'michev Valery Vasil'evich  
Dr. Sci. Biol., professor

Неповинных Артем Геннадьевич  
аспирант

Nepovinnykh Artem Gennad'evich  
post-graduate student

*Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, Россия*

*Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, Russia*

Цель работы – получение прогнозных уравнений, учитывающих естественный рост сосновых древостоев Красноярской лесостепи наряду с влиянием лесохозяйственных мероприятий и стихийных факторов. В статье получены зависимости средневзвешенного диаметра и среднеквадратического отклонения от возраста и густоты.

The aim of work is to get prognostic equations, taking into account the natural growth of pine forest stands of Krasnoyarsk forest-steppe along with influence of forestry arrangements and elemental factors. Dependences of weight average diameter and mean square deviation from age and plantation density were received in the article.

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЙ ДИАМЕТР, СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ, СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ.

Keywords: FORECASTING, AVERAGE WEIGHT AVERAGE DIAMETER, MEAN SQUARE DEVIATION, AVERAGE DISTANCE BETWEEN TREES.

Таблицы хода роста (ТХР) древостоев – наиболее простые и информативные модели возрастной динамики их таксационных показателей, широко применяемые в лесном хозяйстве для определения производительности древостоев, установления возраста спелости, а также для прогнозных расчетов при проектировании лесохозяйственных мероприятий. Данным «инструментом» прогноза в практике лесного хозяйства пользуются давно.

Составление таблиц хода роста основывалось на подборе древостоев одного естественного ряда. Ряд, в свою очередь, подбирался на основе косвенных признаков, при этом отбрасывался опытный материал, чьи значения не вписывались в пределы отклонений от усредненной линии показателей. Влияние таких представлений было настолько велико, что известный исследователь А. Шваппах [5], получив результаты длительных наблюдений на постоянных пробных площадях, противоречащие идее указательных насаждений, составил свои таблицы хода роста в явном противоречии с наблюдаемыми результатами.

С.Н. Сеннов [1], проанализировав изменение текущего прироста на постоянных пробных площадях за 60 лет, выявил увеличение продуктивности, причем в древостоях разного происхождения, состава, возраста и бонитета. Одной и вероятной причиной увеличения текущего прироста С.Н. Сеннов считает изменение климата. В более поздней работе [2] он явно ставит под сомнение постоянство условий внешней среды, принятое за основу при составлении таблиц хода роста.

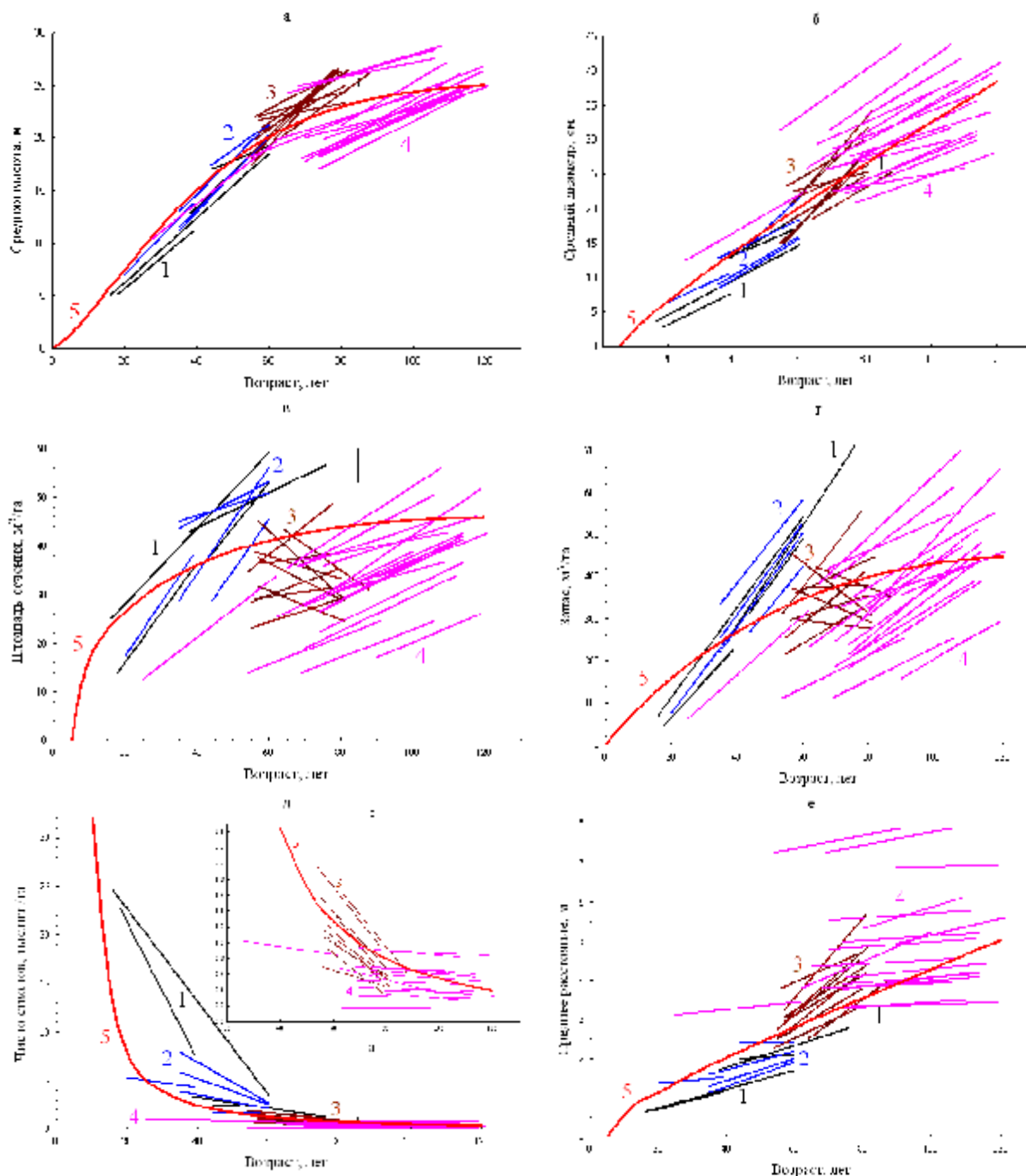
Таблицы хода роста для сосновых насаждений Красноярской лесостепи были составлены более 40 лет назад и по настоящее время не обновлялись. В силу новых подходов к прогнозированию ростовых процессов, актуализация производительности сосновых древостоев Красноярской лесостепи имеет большое значение для принятия оптимальных решений и обеспечит сохранность лесного фонда для будущих поколений.

Наиболее затруднительной становится задача прогноза производительности насаждений в случае нарушения естественных процессов роста в ходе лесохозяйственных мероприятий (рубки ухода) и в результате воздействия стихийных факторов (пожары).

В связи с вышесказанным, необходимо подобрать такие прогнозные уравнения, которые, в свою очередь, учитывали бы динамику окружающей среды или частично ее отражали, наряду с влиянием лесохозяйственных мероприятий и стихийных факторов.

#### **Объект и методика исследования**

Объектом настоящего исследования послужили древостои сосны обыкновенной на территории Красноярской лесостепи. В работе использованы материалы обмеров 155 пробных площадей, часть из них имеет период наблюдений 35–45 лет. По своему расположению используемые пробные площади равномерно охватывают исследуемый район. Динамика роста рассматриваемых древостоев по ряду таксационных показателей отдельных пробных площадей представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Сопоставление ТХР (5) с динамикой роста по:**  
**а – высоте; б – диаметру; в - площади сечения; г – запасу; д – густоте;**  
**е – среднему расстоянию между деревьями на пробных площадях:**  
**1 – не подверженных воздействиям пожаров и рубкам ухода;**  
**2 – Погорельского бора с рубками ухода; 3 – Юкеевского бора**  
**с рубками ухода; 4 – пройденных низовыми пожарами**

По материалам обмеров на постоянных пробных площадях, заложенных на территории Красноярской лесостепи, показано, что рост сосновых древостоев по ТХР [3] не соответствует действительному

развитию рассматриваемых насаждений (см. рисунок 1).

Из рисунка 1 следует, что ТХР не отражают динамики имеющегося разнообразия процессов роста и не пригодны для прогноза при воздействии на рост древостоев хозяйственной деятельности (рубки ухода) и стихийных факторов (пожары).

Отметим, что для древостоев одного уровня производительности основными независимыми переменными остаются возраст и густота.

Подход к моделированию хода роста обследуемых сосняков состоял во введении в набор изучаемых зависимостей отдельных таксационных показателей, кроме возраста, еще одной управляющей величины – среднего расстояния между деревьями. На естественные процессы роста сосновых древостоев Красноярской лесостепи влияют пожары и рубки ухода, а первоначальное проявление этих факторов происходит через изменение густоты.

Для нахождения взаимосвязи диаметра с возрастом и средним расстоянием использовалось линейное уравнение множественной регрессии с использованием комбинированных переменных. При этом было учтено необходимое число лет для достижения древостоями высоты 1,3 м. Совокупность совместного влияния нашла отражение в следующей зависимости:

$$D = a + (b + c \cdot \sqrt{A - n}) \cdot \sqrt{L} \quad (1)$$

где  $D$  – средний диаметр, см;  $A$  – средний возраст древостоя, лет;  $L$  – среднее расстояние между деревьями ( $100/N^{0,5}$ ), м;  $N$  – густота, шт./га;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , – параметры уравнения;  $n$  – число лет, необходимое для достижения древостоями высоты 1,3 м.

Имеющиеся данные дают возможность определить также зависимости между таксационными показателями и основными статистиками рядов распределения пробных площадей.

Одной из величин статистик рядов распределения, для которой было

найденно уравнение связи с возрастом и средним расстоянием, является среднеквадратическое отклонение значений диаметра ( $\sigma$ ). Совместное влияние возраста и среднего расстояния между деревьями на указанную статистику рядов распределения числа стволов по ступеням толщины нашло выражение в зависимости (2):

$$d = a \cdot L + b \cdot L \cdot (A - n) + c \cdot L^2 + d \cdot L^2 \cdot (A - n). \quad (2)$$

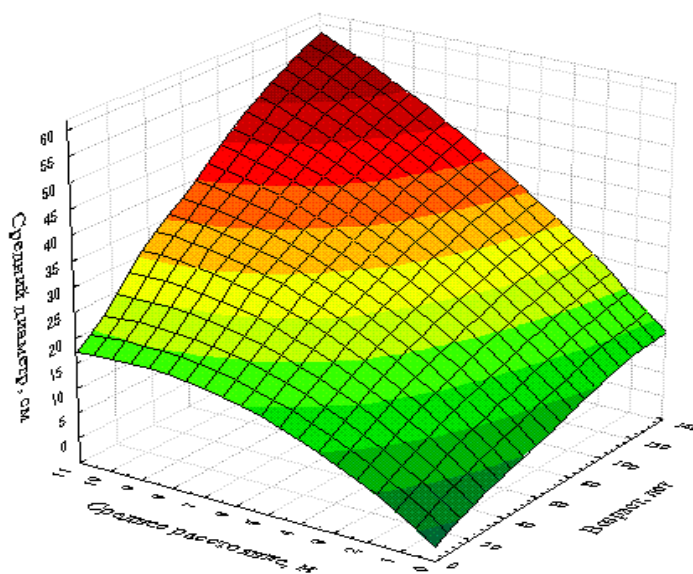
### Результаты и обсуждение

В рамках проведенного исследования были получены уравнения (3, 4), отражающие зависимость диаметра и среднеквадратического отклонения от возраста и густоты (среднего расстояния между деревьями):

$$D = -3,825 + (4,765 + 1,206 \cdot \sqrt{A - n}) \cdot \sqrt{L}, \quad (3)$$

$$d = 3,882 \cdot L - 0,015 \cdot L \cdot (A - n) - 0,409 \cdot L^2 + 0,003 \cdot L^2 \cdot (A - n). \quad (4)$$

Визуальное представление зависимости диаметра от возраста и среднего расстояния показано на рисунке 2.



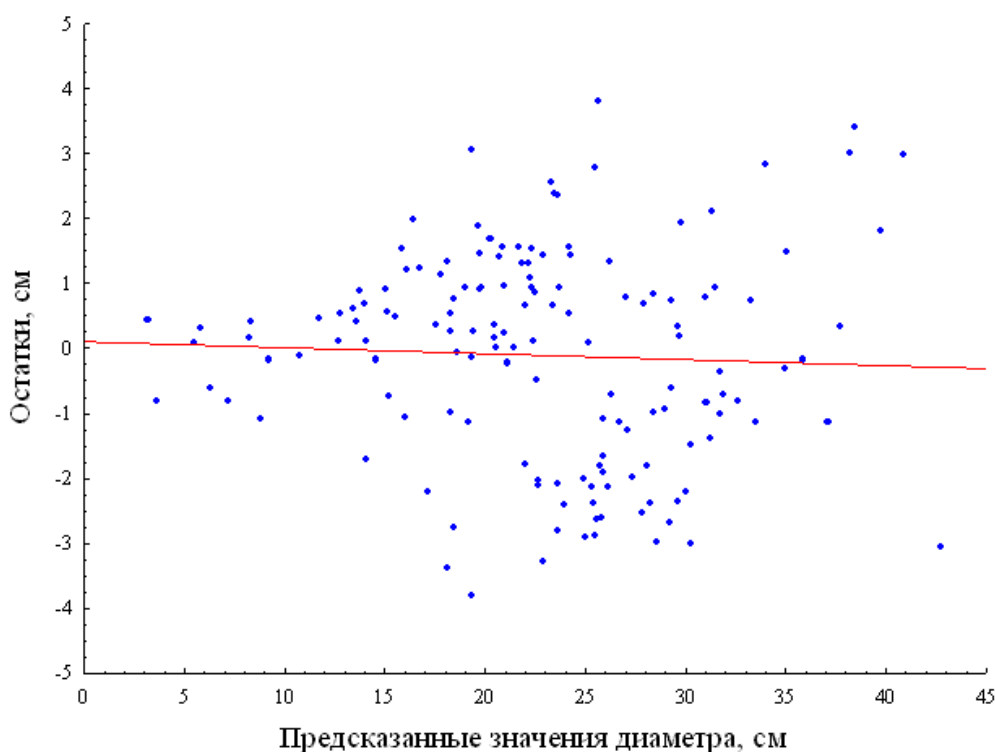
**Рисунок 2 – Зависимость среднего диаметра сосняков от возраста и среднего расстояния между деревьями**  
 Проверка на адекватность подобранных уравнений осуществлялась с

помощью анализа остатков (величины, которые нельзя объяснить с помощью регрессионного уравнения).

При проведении регрессионного анализа делаются некоторые предположения относительно ошибок. Они состоят в признании ошибок независимыми, имеющими нулевые средние, одинаковую (постоянную) дисперсию  $\sigma^2$  и подчиняющимся нормальному распределению [4].

Следовательно, если подобранная нами модель правильна, то остатки будут проявлять тенденцию к подтверждению сделанных предположений или, по меньшей мере, не будут противоречить им [4].

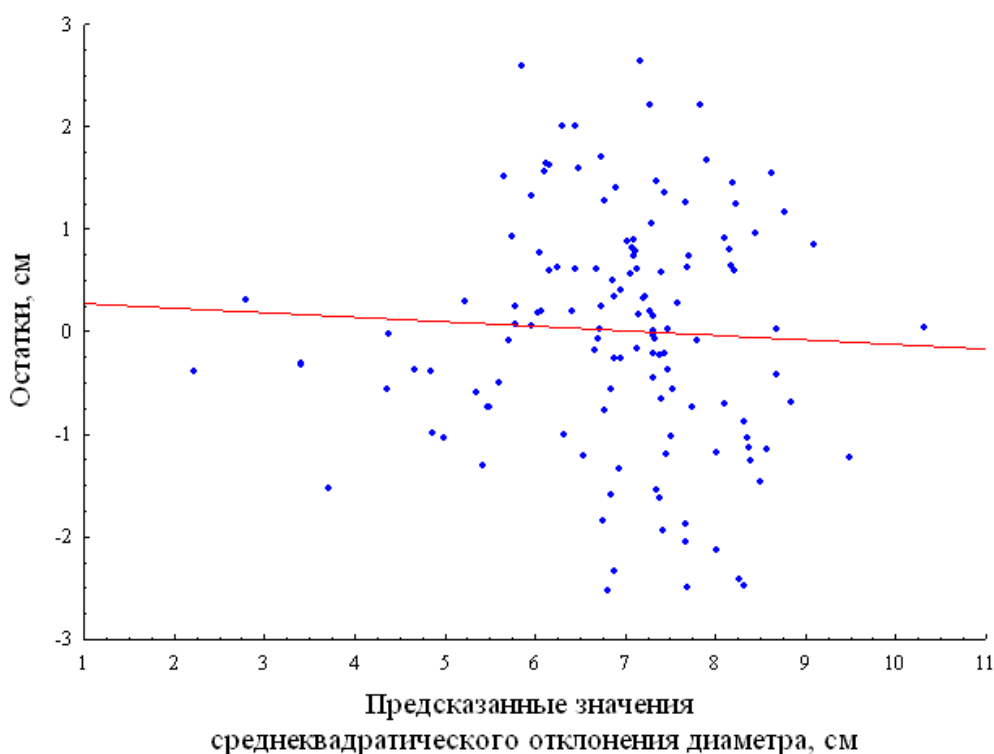
Результаты исследования остатков представлены в графической форме (рисунки 3, 4).



**Рисунок 3 – Остатки в зависимости от предсказанных значений диаметра**

Из рисунка 3 следует, что значения остатков близки к нулевым средним. Разброс остатков относительно предсказанных значений

средневзвешенного диаметра равномерен. «Горизонтальная полоса» разброса близка к нулевому значению и не указывает на какую-либо неадекватность подобранного уравнения (3). Следует констатировать высокую адекватность подобранной зависимости реальным процессам изменения среднего диаметра древостоев в исследуемых сосняках. Уравнение характеризуется высоким коэффициентом детерминации – 95,3. Его значение свидетельствует о том, что совокупность двух факторов объясняет 95,3 % изменчивости средневзвешенного диаметра сосновых древостоев Красноярской лесостепи при стандартной ошибке в 1,8 см.



**Рисунок 4 – Остатки в зависимости от предсказанных значений среднеквадратического отклонения**

Анализ подобранного уравнения (4), отражающего связь среднеквадратичного отклонения от возраста и среднего расстояния между деревьями, показал, что данная модель не в полной мере отражает указанную зависимость (коэффициент детерминации – 0,527). Стандартная

ошибка рассматриваемой модели небольшая – 1,2 см. График остатков в зависимости от предсказанных значений (см. рисунок 4) указывает на определенную тенденцию к переходу от положительных остатков к отрицательным при увеличении предсказанных величин среднеквадратического отклонения. Однако в силу малой выраженности этой тенденции (наклон горизонтальной полосы незначим) и равномерного рассеивания остатков подтверждается адекватность подобранного уравнения. Отметим, что перебором различных моделей, отражающих связь среднеквадратического отклонения диаметра с возрастом и средним расстоянием между деревьями, была подобрана указанная выше модель, как наилучшая регрессия, с минимальным значением функции потерь ( $LF=169$ ). Для всех полученных нами уравнений коэффициенты регрессии при всех определяющих факторах значимы на 5 %-м уровне.

### **Заключение**

В ходе проделанной работы были получены следующие выводы и итоговые результаты:

1. Наблюдения на постоянных пробных площадях в течение 35–45 лет, заложенных на территории Красноярской лесостепи, показали несоответствие действительного роста рассматриваемых древостоев средней линии, отраженной в ТХР.

2. Подобранные уравнения для определения средневзвешенного диаметра и среднеквадратического отклонения с учетом влияния возраста и средней густоты древостоев показали высокую адекватность. Полученные уравнения рекомендуется использовать в системе моделирования строения древостоев по диаметру.



### Список литературы

1. Сеннов С.Н. Тенденции роста южно-таежных лесов северо-запада // Лесоведение. – 1996. – № 4. – С. 68–70.
2. Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство. – М.: Академия, 2005. – 256 с.
3. Фалалеев, Э.Н. Ход роста основных лесобразующих пород Сибири / Э.Н. Фалалеев и др. – Красноярск: РИО СибТИ, 1975. – 196 с.
4. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. кн. 1 / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
5. Schwappach A. Neure Untersuchungen über Wachstum und Ertrag normaler Kiefernbestände in der Tiefebene. В., 1896. 76 s.