

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ (НА ПРИМЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «АЗАС»)

Сергей Кинович Фарбер

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660036 Россия, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, тел. (391)249-46-35, e-mail: sfarber@ksc.krasn.ru

Наталья Сергеевна Кузьмик

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660036 Россия, г. Красноярск, Академгородок, 50/28, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь, тел. (391)249-44-37, e-mail: natalia_5791@mail.ru

Нина Иосифовна Молокова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Азас», 668530, Россия, Республика Тыва, Годжинский р-н, с. Тоора-Хем, ул. Агбаан, 20, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (394)502-12-99, e-mail: azasmolokova@mail.ru

Потенциальная продуктивность древостоев рассматривается в зависимости от лесорастительных условий. Формируются множественные уравнения регрессии. В качестве зависимой переменной используется класс бонитета. Почва, влага и тепло – основные факторы, влияющие на развитие насаждений. Теплообеспеченность местоположений рассматривается, как производное от показателей рельефа. Показатели влажности и плодородия местоположений конструируются на основе характеристик таксационных выделов. Достоверное снижение класса бонитета по мере набора высоты наблюдается только у лиственных древостоев. Влияние экспозиции и величины уклона на продуктивность древостоев не прослеживается. Ранжированный ряд влажности местоположений демонстрируется относительно обобщенного качественного показателя лесорастительных условий – типа леса. Наблюдается наличие статистически значимой связи продуктивности древостоев с типами почв.

Ключевые слова: рельеф, продуктивность насаждений, типы лесов и нелесных сообществ, ландшафт, картографирование.

EVALUATION OF POTENTIAL PRODUCTIVITY OF TREES (ON THE EXAMPLE OF STATE NATURAL FOREST RESERVE “AZAS”)

Sergey K. Farber

Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, D. Sc. Agriculture, Senior Researcher, phone: (391)249-46-35, e-mail: sfarber@ksc.krasn.ru

Natalya S. Kuzmik

Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia, Ph.D, Scientific Secretary of the Academic Council, phone: (391)249-44-37, e-mail: natalia_5791@mail.ru.

Nina I. Molokova

State Wildlife Reserve «Azas», 20, Agbaan st., Toora-Khem, Tyva Republic, 668530, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone:(394)502-12-99, e-mail: azasmolokova@mail.ru

The potential productivity of forest stands is considered depending on forest conditions. Multiple regression equations are formed. As a dependent variable, the bonitet class is used. Soil, moisture and heat are the main factors affecting the development of plantings. The heat supply of locations is considered as a derivative of topography. The moisture and fertility indicators of locations based on the characteristics of taxation stands are constructed. A significant decrease in the bonitet class as climbing is observed only in larch stands. The influence of exposure and slope on the productivity of stands is not traced. A ranked range of location moisture is demonstrated relatively to a generalized qualitative indicator of forest conditions such as forest. There is a statistically significant relationship between the productivity of the stands and soil types.

Key words: relief, stand productivity, types of forests and non-forest communities, landscape, mapping.

Государственный природный заповедник «Азас» расположен в Республике Тыва. По лесорастительному районированию территория заповедника входит в Тоджинский округ подтаежных сосново-лиственничных и горно-таежных лиственничных, сосновых и кедровых лесов [1]. Лесоустройство в заповеднике проводилось в 2015 г. по 3-му разряду. Количество таксационных выделов в заповеднике 11739. Из них сосновых – 56, лиственничных – 2424, кедровых – 5931, еловых – 237. Анализ выполнен с привлечением всех таксационных выделов заповедника. Кроме данных массовой таксации и ЦМР в работе использовались нормативно-справочные материалы лесоустройства – схемы типов леса и нелесных сообществ, плано-картографические и фондовые материалы заповедника.

Продуктивность древостоев определяется посредством многофакторного регрессионного анализа. В качестве зависимой переменной принимается класс бонитета. В качестве аргументов – показатели лесорастительных условий. Почва, влага и тепло – основные факторы, влияющие на рост и состояние насаждений. Уровень значимости уравнений принят равным 0,95. Далее для каждого таксационного выдела производился расчет продуктивности древостоев. Результаты были внесены в соответствующее поле атрибутивной таблицы ГИС, что определяет возможность последующего картографирования. Цель работы – определение и картографирование потенциальной продуктивности (классов бонитета) древостоев, в т. ч. на не покрытых лесом землях.

Тепло. Температурный режим местоположений находится в зависимости от показателей рельефа. Отсюда следует, что при выявлении сопряженности характеристик лесного покрова с лесорастительными условиями количество тепла можно заменить показателями рельефа местности [2]. При наличии связи формируется уравнение регрессии $B_r = f(H, Asp, Sl)$, где B_r – класс бонитета, зависящий от рельефа (количества тепла). Чтобы избежать необходимости формирования отдельных зависимостей для северных и южных экспозиций румбам симметричным относительно оси север–юг присваивается одноименный индекс экспозиции.

Анализ проводился средствами ArcGIS Spatial Analyst. Для получения показателей рельефа использована ЦМР SRTM. Принята следующая градация показателей рельефа:

- Н (абсолютная высота) – интервал 200 м;
- Asp (экспозиция) – интервал 45°;
- Sl (уклон) – интервал 2°.

Рельеф заповедника горный. Однако вопреки ожиданиям корреляция классов бонитета древостоев с показателями рельефа в основном отсутствует. Положительная корреляция с абсолютной высотой наблюдается только у лиственных древостоев $R=0,402$. Влияние экспозиции и уклонов на продуктивность древостоев не прослеживается. Влияние рельефа (тепла) на продуктивность лиственных древостоев описывается уравнением:

$$B_r = 3,774 + 0,027 * H^2 - 0,290 * H, (R^2 = 0,170).$$

Влага. Оценка степени влажности местоположений (почв) производится по описаниям лесотаксационных выделов. Оценка комплексная, учитывающая в т. ч. информацию из макета дополнительных сведений. По отношению к типам леса принимается последовательное увеличение от сухих к более увлажненным. Порядковый номер (индекс) в ранжированном ряду отождествляется со степенью влажности местоположений (почв) [2]. При наличии связи формируется уравнение регрессии. Общий вид зависимости $B_w = f(W)$, где: W порядковый номер (индекс) в ранжированном ряду влажности почв, B_w – класс бонитета, зависящий от влажности местоположений (почв). Сформированы уравнения:

- сосняки – $B_w = 4,622 - 0,311 * W, (R^2 = 0,081)$;
- лиственничники – $B_w = 4,064 + 0,079 * W^2 - 0,568 * W, (R^2 = 0,418)$;
- кедровники – $B_w = 5,706 + 0,050 * W - 0,460 * W^2, (R^2 = 0,270)$;
- ельники – $B_r = 3,528 + 0,030 * W^2, (R^2 = 0,480)$.

Теснота связи влажности почв с продуктивностью лиственных, кедровых и еловых древостоев умеренная, с продуктивностью сосновых – слабая. Насаждения заповедника произрастают при определенной влажности. Сосняки занимают местоположения с баллами влажности 2 и 3; лиственничники от 1 до 9; кедровники от 1 до 9; ельники от 3 до 9. Еще более влажные местоположения занимают заболоченные кустарники. Получается, что влажность почв лимитирует местоположение пород деревьев, и этот факт далее используется при картографировании потенциальной продуктивности древесных пород. Например, местоположения с индексом влажности 1 в качестве потенциально возможных для произрастания ели выпадают.

Плодородие почв. Принимается, что класс бонитета древостоя производное лесорастительных условий, в перечень которых входит в т. ч. плодородие лесных почв. Можно записать $B_s = f(S)$, где: B_s – класс бонитета древостоя, зависящий от плодородия почв; S – показатель лесорастительных условий. Класс бонитета древостоя и наименование (тип) почв фигурируют в описании таксационного вы-

дела. Для получения зависимости $B_s = f(S)$ остается определиться с конструкцией показателя лесорастительных условий S .

Возможность сравнения появляется при использовании заранее оговоренной линии отсчета. В качестве показателя лесорастительных условий ранее было предложено отношение d/d_0 , где: $d_0 = f(h)$; d, h – диаметр и высота главной породы древостоя [3]. Вообще же преимущество за показателем, варьирующим менее других. Поэтому в качестве измерителя лесорастительных условий лучше использовать не отношение диаметров d/d_0 , а отношение высот h/h_0 . Тогда в качестве линии отсчета будет выступать усредненная линия высоты деревьев (уравнение регрессии $h_0 = f(A)$, где A – возраст древостоя, лет). Посредством введения дополнительного аргумента d точность оценок h_0 повышается. Тогда $h_0 = f(d, A)$, при этом началом отсчета будет уже не линия, а плоскость.

Сопоставление плодородия почв возможно относительно отдельных древесных пород, в нашем случае относительно уравнений $h_0 = f(d, A)$, которые индивидуальны для сосны, лиственницы, кедра и ели. Для определенной древесной породы и типа почвы среднее значение показателя лесорастительных условий $S_i = \sum S/n$, где n – число таксационных выделов. Общее для всех пород деревьев и типа почвы средневзвешенное значение показателя лесорастительных условий $S_0 = \sum (S_i * n_i) / N$, где $N = \sum n_i$. Сформированы уравнения:

– сосняки –

$$h_0 = 0,132 + 1,084 * d - 0,010 * d^2 - 0,013 * A, (R^2 = 0,856);$$

– лиственничники –

$$h_0 = 2,053 + 1,373 * d - 0,014 * d^2 - 0,104 * A, (R^2 = 0,789);$$

– кедровники –

$$h_0 = 0,049 + 0,809 * d - 0,008 * d^2 + 0,014 * A, (R^2 = 0,705);$$

– ельники –

$$h_0 = -2,791 + 1,130 * d - 0,011 * d^2 + 0,012 * A, (R^2 = 0,858).$$

На основе уравнений $h_0 = f(d, A)$ для каждого таксационного выдела рассчитаны значения $S = h/h_0$. Далее получены показатели лесорастительных условий S_i и S_0 . Оценка плодородия почв (и картирование) на основе S_i возможна только для таксационных выделов i -той древесной породы. Показатель S_0 относится ко всем древесным породам. Соответственно, оценка плодородия почв (и картирование) на основе S_0 уже возможна только на основании наименования почвы для всех таксационных выделов, включая выдела лиственных древостоев (березняки и осинники), выдела погибших насаждений, вырубки.

Аналитический вид уравнений $B_s = f(S)$ получен по данным классов бонитета древостоев и показателям условий произрастания S_0 таксационных выделов:

– сосняки – связи нет;

– лиственничники –

$$B_s = -78,580 - 105,141 * S_0^2 + 187,558 * S_0, (R^2 = 0,443);$$

– кедровники – $B_s = 4,822 - 8,220 * S_0^2 + 8,375 * S_0, (R^2 = 0,226);$

– ельники – $B_s = 14,159 - 9,624 * S_0^2, (R^2 = 0,335)$.

Потенциальная продуктивность древостоев. Формируются многофакторные уравнения регрессии. В качестве предикторов можно использовать значения B_r, B_w, B_s таксационных выделов. Тогда общий вид зависимости $B_0 = f(B_r, B_w, B_s)$, где B_0 – класс бонитета, зависящий от тепла, влажности и плодородия почв. Количество вычислительной работы существенно сокращается если в качестве предикторов используются непосредственно показатели рельефа и почв (для тестового участка $B_0 = f(H, W, S_0)$). Сформированы уравнения:

– сосняки – $B_0 = 4,622 - 0,311 * W, (R^2 = 0,081)$;

– лиственничники –

$$B_0 = -63,303 - 78,929 * S_0^2 + 0,052 * W^2 - 0,002 * H - 0,419 * W + 146,032 * S_0 + 0,006 * H^2, (R^2 = 0,520);$$

– кедровники –

$$B_0 = 20,389 + 12,385 * S_0^2 + 0,033 * W^2 - 0,286 * W - 27,432 * S_0, (R^2 = 0,296);$$

– ельники – $B_0 = 3,528 + 0,030 * W^2, (R^2 = 0,480)$.

Картографирование потенциальной продуктивности произведено по значениям полей атрибутивной таблицы ГИС абсолютная высота H , влажность почв W и плодородие почв S_0 (таблица).

Данные атрибутивной таблицы ГИС (фрагмент)

Показатели таксационного выдела					Лесорастительные условия, индекс			Потенциальная продуктивность древостоев B_0 , класс бонитета			
Тип леса	А, лет	h, м	d, см	Класс бонитета	H	W	S_0	Сосна	Лиственница	Кедр	Ель
Лбрзм	170	20	28	4	9	3	1,03	4,06	3,03	4,71	3,79
Кбрзм	180	19	28	4	10	3	1,03	4,06	3,14	4,71	3,79
Кбрзм	180	20	30	4	10	3	1,03	4,06	3,14	4,71	3,79
Лбрзм	170	23	30	3	10	3	1,03	4,06	3,14	4,71	3,79
Лртбр	180	22	30	4	10	3	1,01	4,06	3,44	4,76	3,79
Лртбр	170	23	30	3	10	3	1,01	4,06	3,44	4,76	3,79
Кртбр	10	1		4	10	3	1,01	4,06	3,44	4,76	3,79
Лбрзм	170	22	28	4	10	3	1,03	4,06	3,14	4,71	3,79
Кгкмх	180	17	30	5	10	7	0,97		4,25	5,05	4,98
Кермх	190	20	36	4	10	7	0,97		4,25	5,05	4,98
Лермх	180	21	28	4	10	7	0,97		4,25	5,05	4,98
Кбрзм	200	20	32	4	10	3	1,03	4,06	3,14	4,71	3,79
Кгкмх	190	16	26	5	11	7	0,97		4,37	5,05	4,98
БКУл-	10	1		5А	10						
Лгкмх	180	22	28	4	11	7	0,97		4,37	5,05	4,98
Лермх	160	16	24	5	11	7	0,97		4,37	5,05	4,98
Кбрзм	200	19	32	4	11	3	1,03	4,06	3,26	4,71	3,79
БКУм-	10	1		5А	9		0,96				
Еермх	110	16	20	5	9	7	0,97		4,15	5,05	4,98

Условные обозначения: Лбрзм – лиственничники бруснично-зеленомошные; Кбрзм – кедровники бруснично-зеленомошные; Лртбр – лиственничники разнотравно-брусничные; Кртбр – кедровники разнотравно-брусничные; Кгмлх – кедровники голубнично-моховые; Кермх – кедровники ерниково-моховые; Лермх – лиственничники ерниково-моховые; БКУлттр – береза кустарниковая лугово-разнотравная; БКУмхбл – береза кустарниковая мохово-болотная; Еермх – ельники ерниково-моховые.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Типы лесов гор Южной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1980. 334 с. [Типы лесов гор Южнoй Сибири (Types of forests in the mountains of southern Siberia). – Novosibirsk: Nauka, 1980. 334 p. (in Russian)].

2. Фарбер С. К., Кошкарова В. Л., Кузьмик Н. С. Картографирование лесных формаций голоцена с использованием основных показателей климата – тепла и влаги // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 26–40. [Farber S. K., Koshkarova V. L., Kuzmik N. S. Kartografirovaniye lesnykh formatsy golotsena s ispolzovaniyem osnovnykh pokazateley klimata – tepla i vlagi (Mapping of Holocene forest formations using the main climate indicators-heat and moisture) // Sib. lesn. zhurn. 2017. № 6. P. 26–40 (in Russian with English abstract)].

3. Фарбер С. К. Лесные измерения по среднемасштабным аэроснимкам. Красноярск: Изд-во СО РАН, 1997. 106 с. [Farber S. K. Lesnye izmereniya po srednemasshtabnym aerosnimkam (Forest measurements from medium-scale aerial images). Krasnoyarsk: Izd-vo SO RAN, 1997. 106 p. (in Russian)].

© С. К. Фарбер, Н. С. Кузьмик, Н. И. Молокова, 2020