

DOI:10.17308/978-5-9273-3693-7-2023-206-209

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ФИТОПРОДУКТИВНОСТЬ ЛАНДШАФТОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE PHYTOPRODUCTION OF CISBAIKAL'YE LANDSCAPES

Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В.  
Vanteeva Yu.V., Solodyankina S.V.

e-mail: ula.vant@mail.ru

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия  
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

**Аннотация.** На основе материалов полевых работ и расчетных методов произведена оценка основных показателей продуктивности древостоя в ландшафтах Прибайкалья. Для определения факторов среды, оказывающих влияние на показатели продуктивности, проведен множественный регрессионный анализ данных. В результате анализа установлено, что на запасы древесной фитомассы наибольшее отрицательное влияние оказывает рост аквтинных температур. Уменьшение объема прироста древесины в первую очередь связано с повышением топографического индекса влажности. При анализе влияющих факторов на показатели прироста и ЧПП хвойных и лиственных пород выявлено, что у лиственных пород наибольшее влияние на уменьшение прироста оказывает возраст, в то время как для хвойных пород большую роль играют внешние факторы среды.

**Abstract.** For the landscapes of the Baikal region, the evaluation of the main indicators of forest stand productivity was made on the base of the results of field research and calculation methods. Multiple regression analysis of the data was conducted to determine the environmental factors influencing productivity indicators. It was found that on the tree phytomass stock, the greatest negative impact was from the increase in the sum of active temperatures. The decrease in the growing volume of a forest stand is primarily associated with an increase in the topographic wetness index. During analyzing the affecting factors on the growing volume of forest stand and net primary production of coniferous and deciduous tree species, it was proven that age has the greatest influence on the decrease in growth in deciduous tree species, while in coniferous species more influence the environmental factors.

**Ключевые слова:** запасы фитомассы древостоя, объемный прирост древостоя, чистая первичная продукция, множественная линейная регрессия

**Keywords:** tree phytomass stock, growing volume of forest stand, net primary production, multiple linear regression

**Введение.** На формирование фитомассы и ее продукции в ландшафтах оказывает влияние множество факторов как внутренних, так и внешних. Среди внутренних факторов выделяют видовой состав растительности, возраст и полноту древостоя [7]; среди внешних (т.е. факторов среды): термический режим, осадки и историю развития территории [2]. На локальном уровне важную роль играют не только климатические факторы, но и рельеф местности (степень расчлененности, форма рельефа, экспозиция склонов и связанная с ней инсоляция), а также ландшафтная структура и конфигурация природных комплексов (формы ландшафтных контуров, удаленность от границ выделов и т.п.) [8-10].

В качестве объектов исследования выбраны ландшафты Прибайкалья, расположенные в пределах центральной экологической зоны Байкальской природной территории и выполняющие важные для сохранения уникальной экосистемы оз. Байкал средоформирующие, средозащитные и водоохранные функции. Определение пространственной изменчивости фитопродуктивности позволяет выявить основные влияющие факторы и установить характер отклика геосистем на изменение природных условий под воздействием как естественных, так и антропогенных факторов.

**Материалы и методы.** Для количественной оценки показателей фитопродуктивности в период полевых работ 2018 и 2019 гг. выполнялись комплексные физико-географические описания с фиксацией основных лесотаксационных данных и отбором кернов на трех ключевых участках: на юго-восточном побережье оз. Байкал – район дельты реки Селенги, юго-западном – южная часть Приморского хребта и в центральной части котловины – остров Ольхон (рис.).

В лабораторных условиях проводилась датировка и измерение колец. Для определения количественных показателей запасов древесной фитомассы (т/га абс. сух. вещ-ва), годового прироста древостоя (за 2017 и 2018 гг. в м<sup>3</sup> и м<sup>3</sup>/га) и чистой первичной продукции (ЧПП, 2017-2018 гг. в т/га.) применялся расчетный метод с использованием вычислительных формул и конверсионных коэффициентов по апробированной ранее методике [1, 3–5, 7].

Для определения факторов среды, оказывающих влияние на фитопродукционную функцию исследуемых геосистем, проведен множественный регрессионный анализ данных по продуктивности на региональном уровне (для всех трех ключевых участков). В качестве независимых переменных рассматривались климатические факторы и характеристики рельефа. Сумма аквтинных температур выше 10 °С и среднегодовое количество осадков рассчитывались по данным ближайших к ключевым участкам метеостанциям и определялись по картографическим материалам [6]. На основе ЦМР SRTM (пространственное разрешение 30 м) с помощью инструментов SAGA GIS рассчитывались следующие параметры: потенциальный дневной суммарный приход солнечной радиации за вегетационный период

для 2017 и 2018 г. ( $\text{кВтч/м}^2$ ), экспозиция склонов (выражалась через косинус и синус румба в радианах показателями положения на осях «север – юг» и «запад – восток»), индекс конвергенции и топографический индекс влажности. Помимо этого в качестве дополнительных характеристик рассматривались высота местности (м), крутизна склонов (градусы) и мощность гумусового горизонта (см), измеренные инструментальным путем в ходе полевых описаний, а также группа возраста древостоя, определенная в лабораторных условиях на основе анализа древесных кернов.

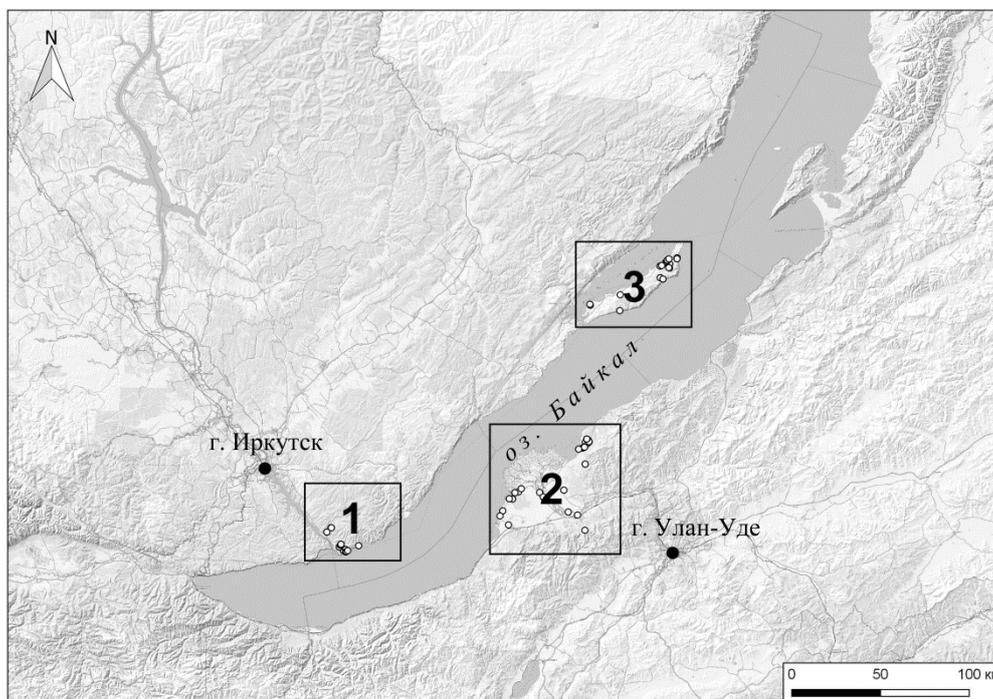


Рис. Расположение ключевых участков исследования: 1 – южная часть Приморского хребта, 2 – район дельты р. Селенги, 3 – о. Ольхон. Белыми точками обозначены тестовые площадки с отбором кернов (подложка – WMS-слой топографической основы с сервиса OpenTopoMap)

**Результаты.** Сравнительный анализ максимальных значений показателей фитопродуктивности лесных ландшафтов на всех трех ключевых участках показал, что самые высокие значения характерны преимущественно для ландшафтов дельты р. Селенги. Максимальные значения ЧПП древостоя наблюдаются в придельтовой части р. Селенги в молодом мертвопокровном сосново-березовом лесу (для *Betula platyphylla* ЧПП – 8,34 т/га, для *Pinus sylvestris* – 2,87 т/га). На Приморском хребте самые максимальные значения почти в два раза ниже, чем на ключевом участке в дельте Селенги, и зафиксированы в березово-сосновом лесу (для *Pinus sylvestris* ЧПП – 4,98 т/га, для *Betula sp.* – 0,81 т/га). На о. Ольхон максимальные значения практически в семь раз ниже и представлены в перестойном сосновом лесу с ЧПП *Pinus sylvestris* – 1,16 т/га.

Минимальные показатели ЧПП древесной растительности выявлены в ландшафтах дельты р. Селенги (старовозрастной вязовник высокотравный) и о. Ольхон (старовозрастные лиственничные леса) колеблются в пределах 0,11–0,12 т/га. Для ландшафтов в южной части Приморского хребта самые минимальные значения характерны для перестойных берез (*Betula sp.*) в елово-березовом кустарниково осоково-сфагновом лесу (ЧПП – 0,11 т/га) и сосново-осиновом с березой мелкотравно-злаковым лесу (ЧПП – 0,04 т/га), при этом общее ЧПП для данных типов ландшафтов довольно высокое.

На первом этапе в качестве зависимой переменной рассматривался общий запас древесной фитомассы, при этом разновозрастные сукцессионные стадии, представленные преимущественно мелколиственными лесами, и антропогенные модификации из анализа исключались. Наибольшую достоверность показала множественная регрессия, которая включает всего три фактора: топографический индекс влажности, потенциальный суммарный приход солнечной радиации и сумму активных температур. Полученное регрессионное уравнение не учитывает влияние всех возможных факторов, так как данная зависимость описывает всего 31 % варьирования запасов древесной фитомассы (табл.), но позволяет выявить следующие закономерности: наибольшее отрицательное влияние на формирование фитомассы в исследуемых ландшафтах из всех проанализированных параметров оказывает сумма активных температур ( $\beta$ -коэффициент  $-82,3$ ). Меньшее отрицательное влияние оказывают: топографический индекс влажности ( $\beta = -10,4$ ) и приходящая солнечная радиация 2017 г. ( $\beta = -0,004$ ). Причем

коэффициент эластичности показал, что наиболее существенные изменения запасов происходят при изменении количества приходящей солнечной радиации: при увеличении фактора на 1 % значения запасов уменьшатся на 6 %.

На втором этапе в качестве зависимой переменной рассматривались по-отдельности прирост древесной фитомассы хвойных пород (одного дерева в м<sup>3</sup>), прирост на 1 га и ЧПП (т/га) хвойных пород за 2017 г. Наибольшую достоверность и максимальный коэффициент корреляции (см. табл.) показало уравнение множественной регрессии, описывающее зависимость прироста древесной фитомассы хвойных пород (м<sup>3</sup>) за 2017 г. от крутизны склона, топографического индекса влажности, годового количества осадков и суммы активных температур. Наибольшее отрицательное влияние на прирост фитомассы оказывает сумма активных температур ( $\beta = -0,0071$ ). Меньшее отрицательное влияние оказывают: топографический индекс влажности ( $\beta = -0,0005$ ) и крутизна склона ( $\beta = -0,00003$ ). Положительная связь выявлена с годовым количеством осадков ( $\beta = 0,002$ ). Коэффициент эластичности показал, что наиболее существенные изменения прироста древесной фитомассы у хвойных пород происходят при изменении суммы активных температур: при увеличении фактора на 1 % значения прироста уменьшатся на 2 %.

Таблица. Статистические параметры множественных регрессий

№	Зависимые переменные	Объем выборки	R	R <sup>2</sup>	F	p
1	Запас древесной фитомассы т/га абс. сух. вец-ва	40	0,55	0,31	5,4	0,004
2	Прирост древесной фитомассы хвойных пород (м <sup>3</sup> ) за 2017 г.	85	0,63	0,39	13,0	< 0,0001
3	ЧПП лиственных пород (т/га)	33	0,75	0,56	19,2	< 0,0001
4	Прирост древесной фитомассы лиственных пород (в м <sup>3</sup> /га за 2017 г.)	33	0,76	0,57	20,0	< 0,0001
5	Прирост древесной фитомассы (в м <sup>3</sup> /га) за 2018 г.	35	0,71	0,50	10,3	< 0,0001

Примечание. R – коэффициент множественной корреляции, R<sup>2</sup> – коэффициент множественной детерминации, F – критерий Фишера, p – уровень значимости

На третьем этапе анализ проводился по данным о приросте фитомассы (в м<sup>3</sup>), приросте фитомассы (в м<sup>3</sup>/га) и ЧПП (т/га) лиственных пород за 2017 г. В данном случае для ЧПП лиственных пород регрессионная зависимость учитывает всего два фактора: группу возраста и топографический индекс влажности (см. табл.). На прирост фитомассы лиственных пород (в м<sup>3</sup>/га за 2017 г.) выявлено влияние тех же самых факторов, но с чуть более высокими корреляционными коэффициентами (см. табл.). Наибольшее отрицательное влияние оказывает группа возраста ( $\beta = -0,7$  для ЧПП и  $\beta = -1,1$  для прироста фитомассы в м<sup>3</sup>/га). Причем коэффициент эластичности показал, что наиболее существенные изменения ЧПП и прироста фитомассы лиственных пород происходят при изменении группы возраста.

На четвертом этапе анализировались факторы, влияющие на прирост древесной фитомассы (в м<sup>3</sup>/га) за 2018 г. Наибольшую достоверность (см. табл.) показала множественная регрессия, учитывающая крутизну склона (град.), топографический индекс влажности и среднегодовое количество осадков. Наибольшее отрицательное влияние на прирост древесины в исследуемых ландшафтах оказывает топографический индекс влажности ( $\beta = -0,04$ ). Меньшее отрицательное влияние оказывает крутизна склона ( $\beta = -0,002$ ). Положительно на накопление древесной фитомассы в 2018 г. повлияло годовое количество осадков ( $\beta = 0,09$ ). Коэффициент эластичности (E) показал, что наиболее существенные изменения прироста фитомассы происходят при изменении индекса топографической влажности: при увеличении фактора на 1 % значения прироста древесной фитомассы за 2018 г. уменьшатся более чем на 8 %.

**Заключение.** Оценка показателей фитопродукционной функции исследуемых ландшафтов и ее пространственной изменчивости показала, что значения древесной фитомассы, ЧПП древостоя очень сильно варьируют не только на региональном уровне, но и на локальном – как в пределах ключевого участка, так и в масштабах отдельно взятого биогеоценоза в зависимости от видового состава растительности, возрастных характеристик древостоя и локальных факторов среды.

На накопление древесной фитомассы наибольшее отрицательное влияние оказывает сумма активных температур. Меньшее отрицательное влияние оказывают: топографический индекс влажности (при избыточном увлажнении запасы уменьшаются) и приходящая солнечная радиация. Причем наиболее существенные уменьшения запасов происходят при увеличении количества приходящей солнечной радиации. Анализ прироста древесной фитомассы за 2018 год также показал отрицательную связь с топографическим индексом влажности, при этом именно увеличение степени увлажнения при-

водит к наибольшим изменениям прироста (увеличение индекса на 1 % приводит к уменьшению прироста более чем на 8 %). Положительно на прирост древесной фитомассы в 2018 г. повлияло годовое количество осадков.

При анализе влияющих факторов на показатели прироста и ЧПП хвойных и лиственных пород удалось установить, что для хвойных пород прирост положительно связан с годовым количеством осадков, а отрицательное влияние оказывают – сумма активных температур, увеличение степени увлажнения, выраженное через топографический индекс влажности, и крутизна склона. Для лиственных пород – наибольшее отрицательное влияние оказывает группа возраста, а среди внешних факторов – также избыточное увлажнение (по топографическому индексу влажности).

Полученные количественные характеристики и модели могут служить основой для оценки интенсивности функционирования ландшафтов, прогноза и моделирования их динамики, оценки природно-ресурсного потенциала территории и т.п.

**Благодарности.** Полевые исследования выполнены поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №17-05-00588, аналитическая обработка проведена в рамках государственного задания ИГ СО РАН № АААА-А21-121012190056-4. Авторы признательны А.В. Банько за участие в отборе, камеральной обработке древесных кернов и в расчетах.

### Литература

1. Анучин Н. П. Лесная таксация. Учеб. для вузов – 5-е изд., доп. / Н. П. Анучин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 552 с.
2. Беручашвили Н. Л. Методы комплексных физико-географических исследований. Учебник / Н. Л. Беручашвили, В. К. Жучкова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
3. Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Оценка и картографирование продуктивности ландшафтов Северного Прибайкалья // География и природные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 63-69.
4. Замолодчиков Д.Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоя / Д. Г. Замолодчиков, А. М. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – Вып. 6. – С. 78-81.
5. Солодянкина С.В., Вантеева Ю.В., Банько А.В. Фитопродукционная функция прибрежных геосистем Прибайкалья // Материалы конференции «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2019. – С. 632-635.
6. Сороковой А.А. Ландшафтная структура Байкальской природной территории: геоинформационный анализ: дис. канд. геогр. наук: 25.00.23 / Сороковой Андрей Анатольевич. – Иркутск, 2008. – 196 с.
7. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В. А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 707 с.
8. Хорошев А.В., Леонова Г.М., Шарова Д.Е. Пространственная устойчивость межкомпонентных связей в степных и лесостепных ландшафтах Южного Урала // Вопросы степеведения. – 2019. – №15. – С. 337-341.
9. Хорошев А.В. Пространственная структура как фактор стабильности биопродукционного функционирования степных геосистем (на примере Айтуарской степи, Южный Урал) // Принципы экологии. – 2020. – № 3. – С. 71-86.
10. Hoeschtetter S., Waltz U., Dang L.H., Thinh N.X. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure – A proposal to modify the existing set of landscape metrics // Landscape Online. – 2008. – V.3. – P.1-14.