

*Н.В. Малышева, Е.В. Рыгалов, Т.Г. Плуталова*

**Изучение ленточных боров Алтайского края методами дендрохронологии и дистанционного зондирования\***

*N.V. Malysheva, E.V. Rygalov, T.G. Plutalova*

**Research of Belt Pine Forests in the Altai Territory Using Dendrochronological and Remote Sensing Methods**

Представлены результаты исследования ленточных боров методами дендрохронологического анализа и дистанционного зондирования для выявления зональной неоднородности реликтовой интразональной лесной геосистемы. Установлена связь между значениями NDVI и коэффициентами межсерияльной корреляции хронологий по отдельным участкам ленточных боров.

**Ключевые слова:** дендрохронология, ленточные боры, NDVI, ширина годичных колец, межсерияльная корреляция хронологий.

Ленточные боры, сформировавшиеся на песчаных отложениях долин древнего стока на юге Западной Сибири (на территории Алтайского края), в настоящее время представляют собой реликтовую интразональную лесную геосистему [1; 2]. Вид-эдификатор — сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Протягиваясь с северо-востока на юго-запад (из южной лесостепи в подзону сухой степи), ленточные боры обнаруживают внутреннюю зональную дифференциацию. Для исследования данного явления были использованы два индикационных метода: дендрохронологический и дистанционного зондирования, которые позволяют оценить состояние боров в различных природных условиях «сверху» и «снизу». Массовые выводы, полученные посредством дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), необходимо верифицировать по результатам дендрохронологического анализа отдельных модельных участков на местности. В то же время установление закономерностей между дендрохронологическими показателями и данными ДЗЗ даст возможность использовать последние в массовых дендроклиматических исследованиях территории.

Анализ растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования — это одна из наиболее распространенных и успешно решаемых задач. Самый популярный и часто используемый нормализованный вегетационный индекс — Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Данный индекс для растительного покрова принимает положительные значения, и чем больше значение зеленой фитомассы,

Results of research of the Altai Territory's belt pine forests using dendrochronological and remote sensing methods to identify zonal variety of intrazonal forest geosystem are represented. Relation between values of NDVI and factor of cross-series correlations of chronologies on the separated areas of belt pine forests was found.

**Key words:** dendrochronology, pine belt forest, NDVI, tree-rings width, cross-series correlation.

тем он выше [3; 4]. Величину этого индекса определяют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние и ряд других параметров. Таким образом, NDVI является показателем продуктивности растительности, в том числе древесной.

Другой показатель продуктивности деревьев (активности деятельности камбия) — ширина радиального прироста. Ширина годичного кольца представляет собой производную действия двух групп факторов: внутренних (генетика, возраст, конкуренция) и внешних (природные условия: климат, рельеф и др.; антропогенное влияние). Для индикационного исследования динамики природных условий посредством древесно-кольцевых рядов используется метод дендрохронологии, который включает в себя отбор, подготовку кернов деревьев и обработку, анализ хронологий (со стандартизацией для элиминации значения группы внешних факторов), проводимые по общепринятой методике [5–7].

Для исследования ленточных боров Алтайского края ранее [8] была заложена сеть дендрополигонов в четырех сосновых лентах и островных массивах (рис. 1). Проведенный дендроклиматический анализ показал наличие климатического сигнала в годичных кольцах деревьев и зависимость продуктивности камбия сосны ленточных боров от условий увлажнения территории. Кроме того, кластерный анализ хронологий позволил выделить в ленточных борах лесостепную (северо-восточную) и степную (западную и юго-западную) части.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 12-05-31202).

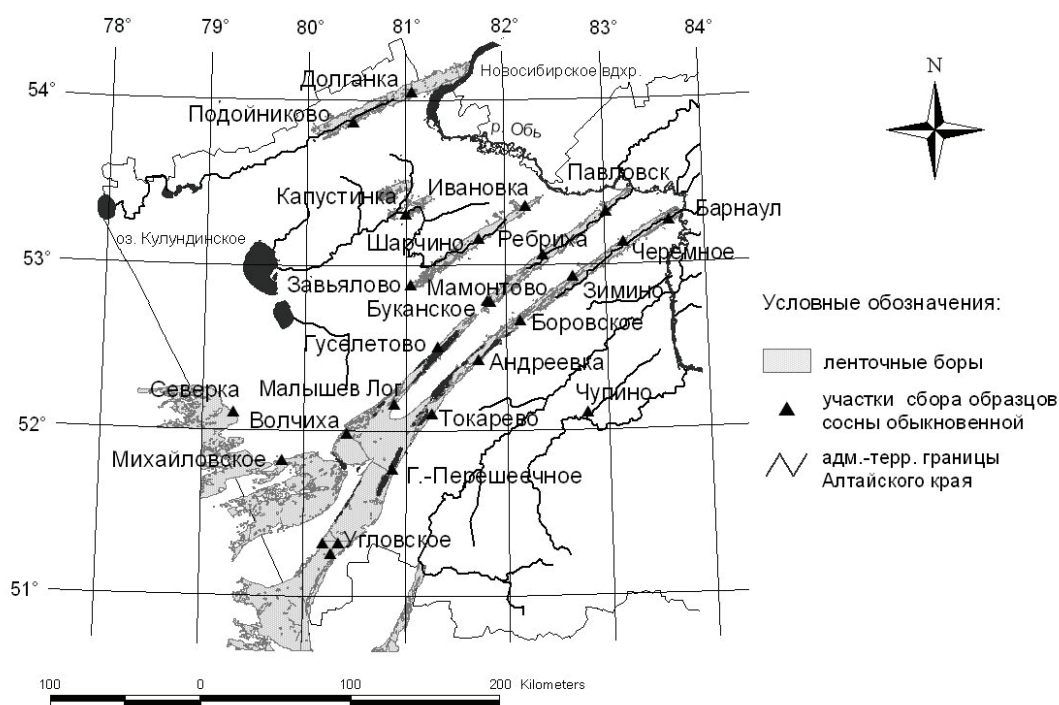


Рис. 1. Дендрохронологическая сеть ленточных боров Алтайского края

Для изучения связи климатически зависимых показателей ширины радиального прироста и объемов зеленой фитомассы сосны обыкновенной были получены значения NDVI для дендрополигонов ленточных боров (используя летние снимки Landsat 7 ETM+ за 1999 г. с пространственным разрешением 30 м). Обработка данных ДЗЗ выполнялась в программном пакете Erdas Imagine. Величина индекса уменьшается в зональном направлении: от 0,5 в зоне лесостепи до 0,1 (минимально до 0,01) в сухостепной части ленточных боров.

Сопоставление средней ширины годовичного прироста в 1999 г. в различных точках боров со значениями NDVI в соответствующих пунктах не выявило значительной связи (коэффициент корреляции составил 0,27). Это обусловлено тем, что годовичное кольцо определенного года содержит в себе информацию о климатических условиях как текущего, так и прошлого вегетационного сезона, гидротермических условиях предыдущей зимы, в то время как NDVI — это зафиксированное во время съемки одномоментное состояние растительности. Поэтому для сравнительного анализа был использован расчетный дендрохронологический показатель RBAR (коэффициент межсерийной корреляции одного дендрополигона), который указывает на наличие внешнего лимитирующего прирост фактора за весь период роста деревьев (прямо пропорциональная зависимость). На зональной границе леса таким фактором выступают климатические условия. Ленточные боры расположены на южном пределе распространения сосны обыкновенной по широте [9], поэтому радиальный прирост деревьев в этом случае ограничивается условиями ув-

лажнения территории в вегетационный период. От зоны лесостепи к сухой степи отмечаются рост температуры воздуха и уменьшение атмосферных осадков [10], в том же направлении увеличивается влияние климата на ширину годовичных колец и растет значение межсерийной корреляции хронологий.

Сопоставление территориального изменения значений NDVI и RBAR обнаруживает зональную (природные зоны на данной территории имеют субширотное расположение) зависимость: для сухой степи характерны более низкие показатели индекса зеленой фитомассы боров и более высокие значения межсерийной корреляции (рис. 2). Однако на обоих графиках обнаруживаются «шумы» (значения, которые выделяются из общей тенденции), обусловленные различными причинами (прежде всего локальными условиями местообитания). Более неоднородная картина получена для NDVI. Это связано с тем, что вегетационный индекс рассчитывается для конкретной точки (в то время как дендрополигон имеет большую площадь) и содержит информацию о кратковременном состоянии древесной растительности (момент снимка), в отличие от показателя RBAR, рассчитываемого для периода жизни дерева. Несмотря на это, между значениями межсерийной корреляции и значениями NDVI выявлена связь, которая подтверждается статистически. Коэффициент корреляции этих двух показателей составляет  $-0,50$  (значимая обратная связь при  $p < 0,01$ ), при удалении хронологии Угловское-120 (максимально выделяющейся из общей тенденции) из корреляционного анализа связь становится существенно выше:  $r = -0,60$ .

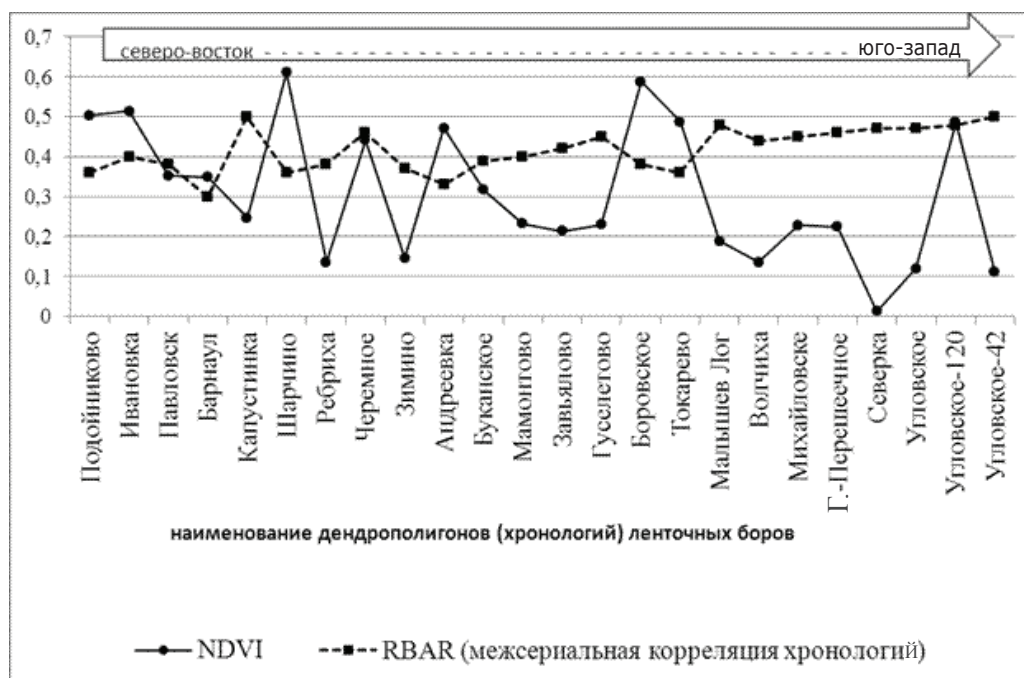


Рис. 2. Значения NDVI и RBAR (межсерияльная корреляция индивидуальных хронологий) для дендрополигонов ленточных боров

С целью сопряженного анализа дендрохронологического метода и метода обработки данных ДЗЗ для оценки зональной неоднородности ленточных боров показатели RBAR и NDVI были послойно нанесе-

ны на карту (рис. 3). Непрерывное поле значений вегетационного индекса построено по отдельным пунктам ленточных боров (дендрополигонов) и экстраполировано на всю территорию исследования для наглядности.

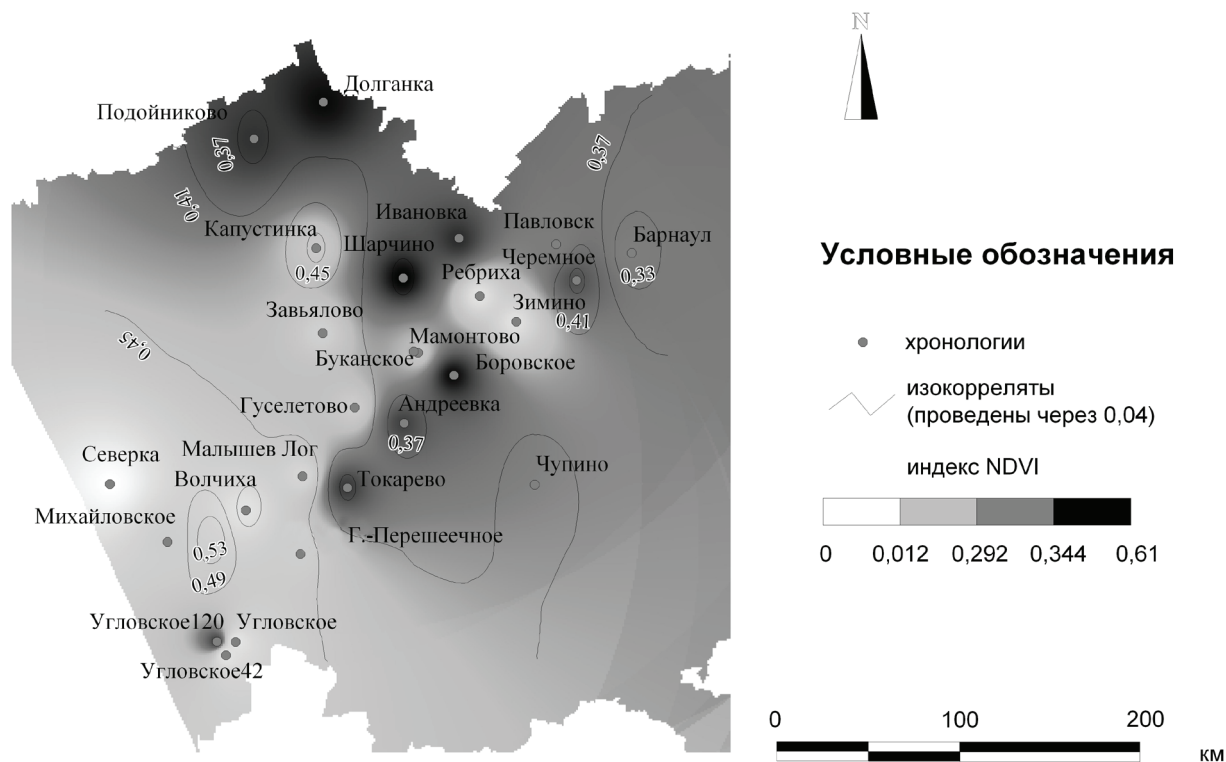


Рис. 3. Изменение значений коэффициентов межсерияльной корреляции (RBAR) и вегетационного индекса NDVI по территории ленточных боров

Полученные выводы подтвердили результаты проведенного ранее кластерного анализа хронологий [8] и позволили выделить две зональные области ленточных боров: лесостепную и степную. Изокоррелята (линия, соединяющая точки с одинаковыми коэффициентами корреляции [11]) 0,41 выступает как условная граница между этими областями. Территория, расположенная южнее и западней, характеризуется также более низкими значениями вегетационного индекса. Сопоставимость результатов, достигнутых разными способами, говорит в пользу их достоверности. Наши выводы подтверждаются и ботаническими исследованиями [12]. В северных частях боров представлены лесные экотипы сосны, в южных — степные, а граница между этими областями проходит примерно на широте с. Мамонтово.

Таким образом, применяемые методы исследования позволяют индцировать пространственную не-

однородность природных систем и факторов, которые ее определяют (прежде всего климатических). Использование дендрохронологического метода дает возможность изучать изменение климатических условий не только по территории, но и во времени. Это позволяет реконструировать смещение климатических зон лесостепи и степи в пространственно-временном аспекте.

Сопоставление двух индикационных методов предусматривает в дальнейшем привлечение данных дистанционного зондирования для дендроклиматического анализа. Пространственная оценка NDVI дает возможность планировать территориальное размещение дендрополигонов исходя из целей исследования. Особенно это важно при массовых работах и заложении плотной дендроклиматической сети. Полученные результаты не окончательные и требуют дальнейшего изучения.

### Библиографический список

1. Вангниц П. П. Ленточные боры. — М., 1953.
2. Грибанов Л. Н. Ленточные боры Алтайского края и Казахстана. — М., 1954.
3. Крупочкин Е. П. О новых возможностях дистанционного поиска археологических памятников по данным NDVI и результатам пространственной фильтрации мультиспектральных снимков // Известия Алтайского государственного университета. — 2010. — № 3/1.
4. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. — 2009. — № 3.
5. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В. и др. Методы дендрохронологии. — Красноярск, 2000. — Ч. I.
6. Cook E. R. A Time Series Analysis Approach to Tree-ring Standardization / Ph. D. Dissertation, University of Arizona. — 1985.
7. Rinn F. TSAP-Reference Manual. — Heidelberg, 1996.
8. Малышева Н. В., Быков Н. И. Дендроклиматический анализ ленточных боров Западной Сибири // Известия РАН. Сер. геогр. — 2011. — № 6.
9. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. — М., 1964.
10. Харламова Н. Ф., Силантьева М. М. Современное состояние и тенденции изменений климата Кулунды // Известия Алтайского государственного университета. — 2011. — № 3/2.
11. Червяков В. А. Количественные методы в географии : учебное пособие. — Барнаул, 1998.
12. Стрелковский А. Н. Экологические и морфологические особенности сосны обыкновенной на юге Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 2005.