



УДК 630*228.8

**Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин,
С.А. Незамаев**

Марийский государственный технический университет

Курбанов Эльдар Аликрамович родился в 1965 г., окончил в 1989 г. Марийский политехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства Марийского государственного технического университета, руководитель центра устойчивого управления лесами. Имеет более 80 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», устойчивого управления лесами, дистанционных методов в изучении лесов.

E-mail: kurbanovea@marstu.net



Воробьев Олег Николаевич родился в 1966 г., окончил в 1989 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Марийского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», устойчивого управления лесами, дистанционных методов их изучения.

E-mail: vorobievon@marstu.net



Устюгова Любовь Сергеевна родилась в 1984 г., окончила в 2007 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Имеет более 10 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», устойчивого управления лесами.

E-mail: lmoshkina@mail.ru



Губаев Александр Владимирович родился в 1982 г., окончил в 2004 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Имеет более 10 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», дистанционных методов в изучении лесов.

E-mail: gubaevav@marstu.net



Лежнин Сергей Анатольевич родился в 1984 г., окончил в 2009 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры лесоводства МарГТУ. Имеет более 10 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», дистанционных методов в изучении лесов.

E-mail: lejnuns@marstu.net



Незамаев Сергей Александрович родился в 1987 г., магистрант Марийского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», дистанционных методов в изучении лесов.

E-mail: nezamaevsa@marstu.net



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИНАМИКА ФИТОМАССЫ БЕРЕЗНЯКОВ НА БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ МАРИЙСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ*

Исследовано накопление фитомассы молодыми лесными березовыми насаждениями естественного происхождения на землях запаса. Выявлены некоторые закономерности пространственного распределения фитомассы вдоль экспериментальных трансект, начиная от стены материнского леса.

Ключевые слова: фитомасса, березовые насаждения, геостатистика, пространственный анализ, земли запаса.

В последние годы обширные площади сельскохозяйственных земель перестали обрабатываться, что привело к их естественному зарастанию пионерными породами (береза, осина, ольха). По данным Росземкадастра РФ, за 10 лет с 1990 г. эти земли сократились на 1320 тыс. га, что связано с передачей их другим землепользователям или переводом под земли запаса. Неустойчивая граница леса с полями не очень заметна на участках, где идет нормальная и непрерывная эксплуатация земли под сельскохозяйственные культуры. Иначе любая, даже кратковременная (до 5 лет), приостановка в обработке почвы, сенокосении или пастьбе скота заканчивается распространением древесно-кустарниковой растительности на таких участках. Этот процесс особенно заметен в примыкающих к стенам леса полосах более крупных участков угодий [5].

Надвигание растительности на безлесные ландшафты идет очень быстро и в сильной степени зависит от микроклиматических и почвенных условий. Марийское Заволжье является важным регионом для оценки взаимосвязи между антропогенными изменениями и реакцией лесных экосистем на эти процессы, поскольку имеет длительную историю (500 лет) человеческой деятельности по вырубке лесных экосистем и переводу их под сельскохозяйственное пользование. В последние десятилетия на многих площадях наблюдается противоположный процесс – зарастание сельскохозяйственных площадей, переведенных под земли запаса, лесной растительностью [1].

Подобные процессы наблюдаются во многих странах мира. Многие исследователи занимаются изучением колонизации инвазивными видами растительности открытых и деградированных земель. Считается, что такая биологическая сукцессия может существенно повлиять на структуру и функционирование лесной экосистемы [12, 17, 23]. В международной литературе есть множественные примеры зарастания бывших сельскохозяйственных угодий на площади вторичного тропического леса [6, 13, 16, 24, 25].

В последние годы многие ученые [3, 8, 14, 15, 18, 20] используют пространственный анализ природных объектов, который является новым

* Работа выполнена в рамках гранта № 2.2.2.3/8102 и мероприятия 1 (НИР 2/2) аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы РФ на 2009-2010 гг.».

и перспективным элементом в исследовании лесных насаждений, позволяя выявить закономерности распределения как отдельных видов деревьев по участку в зависимости от их пространственного размещения, так и самих видов в ассоциациях (группах). Понимание пространственного распределения фитомассы по территории участка дает возможность глубже понять внутренние и внешние связи лесной экосистемы и закономерности ее биологической продуктивности [15, 21, 22]. Кроме того, эти процессы необходимо знать при выборе стратегии ведения лесного хозяйства на соответствующих землях, в частности при создании углерододепонирующих насаждений с максимальным приростом фитомассы. Несмотря на большое количество публикаций в этой области, количественная и качественная пространственная динамика фитомассы молодых насаждений изучена недостаточно.

Целью работы был детальный анализ накопления фитомассы молодыми лесными насаждениями естественного происхождения на бывших сельскохозяйственных землях с учетом их пространственного размещения, начиная от материнского полога леса.

Методика и материалы. Объектами исследований служили угодья (земли запаса) Сернурского и Юринского районов, а также пригорода г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл. Почти все исследуемые плодородные сельскохозяйственные земли более 10 лет назад были оставлены под естественное зарастание. Численность видов древесной растительности учитывали с июня по сентябрь 2008 г. на площадках 10×10 м, располагающихся на трансектах (по 3 на каждой из 15 исследованных пробных площадей), начиная от опушек материнского леса и оканчивая распространением возобновившегося молодого леса (рис. 1). Для удобства учетных работ эти площадки, в свою очередь, подразделяли на участки 5×5 м². На каждой площадке детально учитывали все породы: хвойные старше 2 лет, мягколиственные – 1 года. Определяли высоту и диаметр у основания стволика. Данные для древесных растений всех видов объединяли по группам высот с кратностью 1 м (0,5...1,5; 1,6...2,5; 2,6...3,5 и т. д.). Пропорционально этому распределению на каждой трансекте отбирали в среднем по 15...20 модельных деревьев, у которых непосредственно в полевых условиях взвешивали надземную фитомассу, а в лабораторных находили влажность отдельных

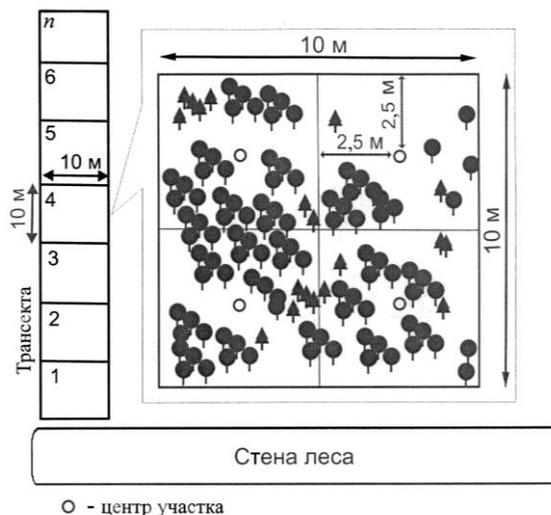


Рис. 1. Схема полевых исследований фитомассы по трансектам на землях запаса

компонентов: верхушки, середины, основания стволика и кроны (ветви, хвоя или листья). С учетом влажности экспериментальных образцов (навесок и секторов стволика) их массу пересчитывали в абс. сухую. Далее при помощи регрессионных уравнений пересчитывали надземную фитомассу всех деревьев на исследуемых участках трансект.

Пространственный анализ распределения фитомассы выполняли при помощи пакета геостатистики GeoR [19], в основе которой лежит вариограммный анализ. Геостатистика предлагает методы описания непрерывности в пространстве многих природных явлений и обеспечивает настройку инструментов регрессионного анализа на учет этой непрерывности. Как правило, объекты, явления и процессы, близкие в пространстве, более подобны, чем удаленные друг от друга. В пространственной статистике эмпирическая вариация $\gamma(h)$ (семивариация, полувариация) описывается функцией

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2,$$

где z – элемент данных в каждом конкретном местоположении (в нашем случае это фитомасса на участке трансекты);

h – расстояние между исследуемыми данными;

$n(h)$ – число парных данных, расположенных на расстоянии h ;

x_i – координата элемента данных по оси X .

Как видно из формулы, пространственная вариация (полувариация) в этом случае отражает половину значения инкремента (шага) $z(x_i + h) - z(x_i)$, в то же время полная вариация значений z относится ко всему пространству расстояния h [7]. График значений пространственной вариации в зависимости от расстояния принято называть вариограммой. Теоретически вариограмма $2\gamma(x, y)$ является функцией, описывающей степень пространственной зависимости случайного поля или стохастического процесса [9]. Обычно функция вариограммы начинается с нулевого значения, возрастает и достигает определенного максимального уровня. В нашей работе было применено построение вариограмм для представления пространственного распределения фитомассы по свободной от древесной растительности территории.

Результаты и обсуждение. Данные на трансектах существенно различаются по фитомассе, пространственному распределению и возрасту. На начальных стадиях сукцессии на исследуемых сельскохозяйственных землях в формирующихся молодняках преобладает береза повислая (*Betula pendula* Roth.). В таких насаждениях наблюдается явно выраженная вертикальная ярусность полога, вызванная неравномерностью зарастания исследуемых площадей. Разновозрастность березы в пределах одной трансекты колеблется от 2 до 10 лет. В связи с этим пространственное распределение фитомассы также имеет групповой (кластерный) характер. По t-критерию Стьюдента были выделены три группы высот (0,1...0,5, 0,6...1,5 и 1,6...5,0 м), в которых фитомасса существенно различается.

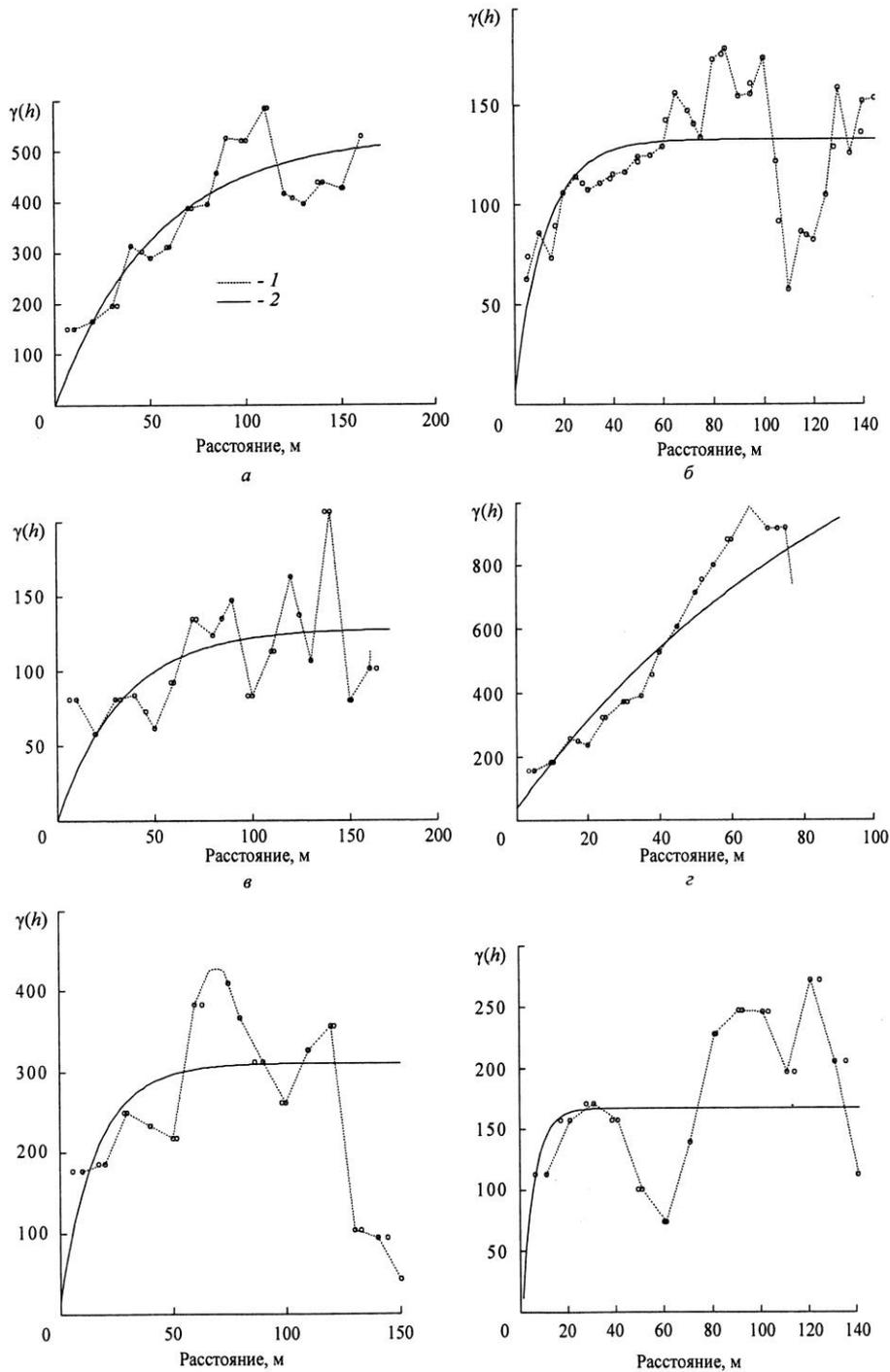


Рис. 2. Вариограммы пространственной динамики фитомассы березы, полученные на примере 6 пробных площадей (а – е): 1 – эмпирическая; 2 – выравненная по методу взвешенных наименьших квадратов

Молодые березовые насаждения дружно и очень обильно поселяются вблизи основного полога леса. В начале трансекты (около материнской стены леса) густота варьирует от 100 до 600 шт. на площадке 0,1 га, в конце – от 100 шт. до единичных случаев.

По мере удаления от главной опушки полога леса на всех лентах выявлено явное снижение фитомассы березы. В целом эта закономерность наблюдается на расстоянии 140...200 м. Далее по ходу трансекты встречаются одиночные деревья, а свободные земли запаса зарастают травянистой растительностью. Исследования показали высокую скорость накопления фитомассы. Естественный скачок в ее пространственном распределении наблюдался на первых квадратах трансекты, где запасы достигали в среднем $25 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, в то время как на последних снижались до $2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Отмечено также неравномерное (неоднородное) распределение фитомассы вдоль трансекты. Как видно из рис. 2, всенаправленные вариограммы свидетельствуют о наступлении максимальной пространственной корреляции на расстоянии 70...120 м от опушки леса. Максимум (порог) пространственной вариации на данном расстоянии свидетельствует о благоприятной пространственной экологической нише для естественного роста березы, что выражается в увеличении ее фитомассы. Наблюдаются два (в отдельных случаях три) максимума (порога) пространственного распределения фитомассы. Первый пик достигается на ближайших участках (10...30 м) молодого березового леса, граничащего с опушкой материнского леса. Далее по ходу трансекты (25...65 м) запасы фитомассы несколько уменьшаются, на расстоянии 70...120 м наблюдается новый пик, а затем последующее снижение на участке 130...200 м. Такое распределение показателей самосева березы зависит в основном от удаленности от материнской стены леса и конфигурации земель запаса.

На первый взгляд, распределение фитомассы березы может показаться несущественным моментом в изучении процессов естественного лесовозобновления. Между тем пространственная группировка (автокорреляция) отдельных участков (фитомассы) березы является ключевым моментом в понимании динамики сукцессии насаждения. Зная экологические закономерности распределения фитомассы по территории, свободной от древесной растительности, можно получить более полное представление об ее относительной пространственной выравненности и непрерывности [4]. Этот аспект может быть важен также при оценке накопленного углерода [2] и способов повышения продуктивности молодых насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснобаева, К.В. Лесовосстановление на деградированных заброшенных сельскохозяйственных землях [Текст] / К.В. Краснобаева, А.Р. Мубаракшина // Материалы Всерос. науч. конф. – Казань, 2005. – С. 127–128.
2. Курбанов, Э.А. Углероддепонирующие насаждения Киотского протокола [Текст] / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 184 с.

3. Курбанов, Э.А. Пространственное распределение крупного древесного детрита в сосняках Марийского Заволжья [Текст] / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев // Экология. – 2008. – № 2. – С. 103–109.
4. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение [Текст] / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 181 с.
5. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье [Текст] / А.И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 2002. – № 5. – С. 44–52.
6. Arago'n, R. Species composition and invasion in NW Argentinean secondary forests: effects of land use history, environment and landscape [Text] / R. Arago'n, J.M. Morales // Journ. of Vegetation Science. – 2003. – N 14. – P. 195–204.
7. Bachmaier, M. Variogram or semivariogram – explaining the variances in a variogram [Text] / M. Bachmaier, M. Backes // Precision Agriculture. – 2008. – Article DOI: 10.1007/s11119-008-9056-2.
8. Baddeley, A. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns [Text] / A. Baddeley, R. Turner // Journ. of Statistical Software. – 2005. – Vol. 12(6). – P. 2–42.
9. Cressie, N.A.C. Statistics for spatial data [Text] / N.A.C. Cressie. – New York: John Wiley & Sons Inc., 1991. – 900 p.
10. Diggle, P.J. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns [Text] / P.J. Diggle. – Second Edit. Arnold Publishers. – 2003. – 288 p.
11. Directionality in fruit dispersal models for anemochorous forest trees [Text] / S. Wagner [et al.] // Ecological Modelling. – 2004. – N 179. – P. 487–498.
12. Ehrenfeld, J.G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes [Text] / J.G. Ehrenfeld // Ecosystems. – 2003. – N 6. – P. 503–523.
13. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology [Text] / T.M. Aide [et al.] // Restoration ecology. – 2000. – N 8 (4). – P. 328–338.
14. Fox, J.C. Modelling spatial dependence in an irregular natural forest [Text] / J.C. Fox, H.B. Ades, P.K. Ades // Silva Fennica. – 2008. – N 42(1). – P. 35–48.
15. Gratzler, G. Density-dependent mortality versus spatial segregation in early life stages of *Abies densa* and *Rhododendron hodgsonii* in Central Bhutan [Text] / G. Gratzler, P.B. Rai // Forest Ecology and Management. – 2004. – N 192. – P. 143–159.
16. Land-use history and forest regeneration in the Cayey Mountains, Puerto Rico [Text] / J.B. Pascarella [et al.] // Ecosystems. – 2000. – N 3. – P. 217–228.
17. Mack, M.C. The effects of exotic grasses on litter decomposition in a Hawaiian woodland: the importance of indirect effects [Text] / M.C. Mack, C.M. D'Antonio // Ecosystems. – 2003. – N 6. – P. 723–738.
18. Markov point processes for modeling of spatial forest patterns in Amazonia derived from interferometric height [Text] / T. Neeff [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2005. – N 94. – P. 84–94.
19. Ribeiro, J. GeoR: A package for geostatistical analysis [Text] / J. Ribeiro, P.J. Diggle // R-NEWS. – 2001. – Vol. 1, N 2. – P. 15–18.
20. Spatial pattern formation in semi-arid shrubland: a priori predicted versus observed pattern characteristics [Text] / F. Schurr [et al.] // Plant Ecology. – 2004. – N 173. – P. 271–282.
21. Statistical analysis and modelling of spatial point patterns [Text] / J. Illian [et al.]. – John Wiley & Sons Ltd., 2008. – 560 p.
22. Stoyan, D. Recent Applications of Point Process Methods in Forestry Statistics [Text] / D. Stoyan, A. Penttinen // Statistical Science. – 2000. – Vol. 15, N 1. – P. 61–78.

23. *Vanderhoeven, S.* Increased topsoil mineral nutrient concentrations under exotic invasive plants in Belgium [Text]/ S. Vanderhoeven, N. Dassonville, P. Meerts // *Plant Soil*. – 2005. – N 275. – P. 169–179.

24. *Wright, S.J.* Tropical forests in a changing environment [Text]/ S.J. Wright // *Trends in Ecology and Evolution*. – 2005. – N 20. – P. 553–560.

25. *Wright, S.J.* The future of tropical forest species [Text] / S.J. Wright, H. Muller-Landau // *Biotropica*. – 2006. – N 38. – P. 287–301.

Поступила 24.08.09

*E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, L.S. Ustyugova, A.V. Gubaev, S.A. Lezhnin,
S.A. Nazamaev*
Mari State Technical University

Spatial Dynamics of Birch Forests Phytomass on Abandoned Agricultural Lands of Mari Transvolga Region

The phytomass accumulation by young birch stands naturally regenerated on the abandoned agricultural lands is studied. Some spatial distribution patterns of phytomass along the experimental transects from the main forest wall are revealed.

Keywords: phytomass, birch stands, geostatistics, spatial analysis, abandoned agricultural lands.
