

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ЛЕСНЫХ ПОЧВ УСМАНСКОГО БОРА

кандидат биологических наук **А.В. Белик**

кандидат биологических наук **Ю.С. Горбунова**

доктор биологических наук, профессор **Т.А. Девятова**

кандидат биологических наук **Л.А. Алаева**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация

В современных условиях важной составной частью экологического мониторинга являются наблюдения за экологическим состоянием почвенного покрова, подразумевающие активное применение геоинформационных систем. Существующая пространственная контрастность почвенного покрова и варьирование показателей экологического состояния почв в значительной степени осложняют интерпретацию и внедрение результатов почвенно-экологического мониторинга в природоохранную практику. Традиционные исследования пространственной пестроты почвенных свойств с использованием геоинформационных технологий носят прикладной характер и в первую очередь связаны с внедрением в практику технологий точного земледелия. Применение ГИС-технологий направлено на инвентаризацию и оценку состояния природных ресурсов конкретной территории с учетом особенностей их пространственной динамики. Однако применение геоинформационных систем для исследования пространственного варьирования показателей экологического состояния почв в лесных экосистемах является также весьма актуальным. Данные исследования позволяют не только проследить фактические изменения в экологическом состоянии почвенного покрова леса, но и выявить зависимость последних от уровня антропогенной нагрузки экосистем, а также проводить моделирование и прогноз состояния лесных экосистем. В статье рассмотрены основные закономерности пространственного варьирования физико-химических и химических свойств почв в зависимости от пестроты рельефа. Выявлены разные степени рассеивания показателей физико-химических и химических свойств почв по вычисленному коэффициенту варьирования. Наибольший размах варьирования характерен для мощности подстилки и дёрна, содержания гумуса и обменного калия ($V > 33\%$).

Ключевые слова: почвенный покров, пространственное варьирование, экологическое состояние, дерново-лесные почвы, Усманский бор, геоинформационные системы, физико-химические и химические свойства

SPATIAL VARIATION OF ECOLOGICAL INDICATORS OF SODDY FOREST SOILS IN USMANSKY PINE FOREST

PhD (Biology), **A.V. Belik**

PhD (Biology), **Yu.S. Gorbunova**

DSc (Biology), Professor **T.A. Devyatova**

PhD (Biology) **L.A. Alaeva**

FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation

Abstract

In modern conditions, an important component of environmental monitoring is record of the ecological state of soil cover, implying active use of geographic information systems. The existing spatial contrast of soil cover and variation in the indicators of soil ecological state greatly complicates the interpretation and implementation of the results of soil-ecological monitoring into environmental practice. Traditional studies of spatial diversity considering soil proper-

ties and using geoinformation technology are of applied nature and primarily associated with the introduction of precision farming technologies into practice. GIS technologies are aimed at inventorying and assessing the state of natural resources of a particular territory, taking into account the peculiarities of their spatial dynamics. However, the use of geographic information systems to study the spatial variation of soil ecological indicators in forest ecosystems is also very relevant. These studies allow not only trace the actual changes in the ecological state of the forest soil cover, but also reveal their dependence on the level of anthropogenic load of ecosystems and carry out modeling and forecasting of the forest ecosystems' state. The article discusses the main regularities of the spatial variation of physicochemical and chemical properties of soils depending on the relief variegation. Different dispersion degrees of indicators of physical, chemical and chemical properties of soils, according to the calculated coefficient of variation have been revealed. The greatest range of variation is typical for litter and sod thickness, humus content and exchangeable potassium ($V > 33\%$).

Keywords: soil cover, spatial variation, ecological state, soddy forest soils, Usmansky pine forest, geographic information systems, physicochemical and chemical properties

Введение

В современных условиях важным инструментом мониторинга состояния окружающей среды являются геоинформационные технологии. Пространственное варьирование показателей экологического состояния почв используется множеством иностранных ученых для обоснования внедрения элементов точного земледелия [1, 2, 3]. В наибольшей степени их применение направлено на инвентаризацию и оценку состояния природных ресурсов конкретной территории с учетом особенностей их пространственной динамики. Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений применения ГИС и методов геостатистики является изучение пространственного варьирования показателей экологического состояния почв в лесных экосистемах. Данные исследования позволяют не только проследить фактические изменения в экологическом состоянии почвенного покрова леса, но и выявить зависимость последних от уровня антропогенной нагрузки экосистем, а также в дальнейшем моделировать и прогнозировать состояние лесного биогеоценоза в целом [4]. Особенно актуально это для лесов и зеленых насаждений, прилегающих к крупным городам, поскольку их экосистемы испытывают постоянно возрастающее воздействие автотранспорта. Впервые было проведено подробное исследование влияния пестроты рельефа на пространственное варьирование основных физико-химических и химических показателей в пределах Усманского бора Воронежской области.

Цель нашей работы – изучение закономерностей пространственного варьирования основных показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора.

В задачи исследования входили: закладка ключевого участка, отбор почвенных образцов, проведение геостатистического анализа для ключевого участка, анализ пространственного варьирования физико-химических и химических свойств дерново-лесных почв.

Объекты и методы

Исследованы почвы Воронежской области Российской Федерации: дерново-лесные глееватэлювиальные супесчаные, расположенные на территории Усманского бора в лесостепной зоне, который является основным лесом в центре Среднерусской возвышенности и граничащим с городом Воронежем (рис. 1, 2) [5, 6]. Полевые исследования проводились в 2016 году [7]. Для проведения исследований на окраине соснового леса был заложен ключевой участок, общей площадью 1 га (100×100 м), стороны которого ориентированы по сторонам света. Ключ располагается к юго-востоку от НОИ-СОК «Веневитиново» на расстоянии 1 км в непосредственной близости от озера Чистое. Ключевой участок был заложен на пологом холме, вытянутом с запада на восток.

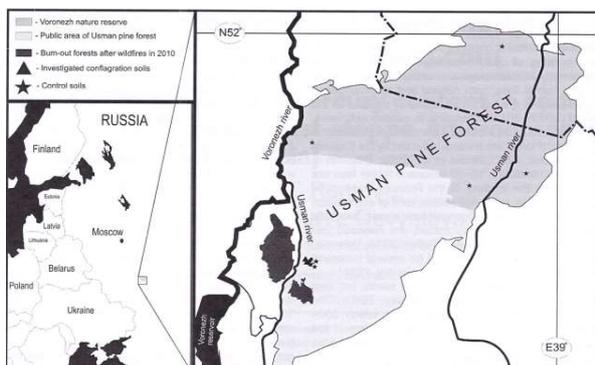


Рис. 1. Географическое положение Усманского бора [6]



Рис. 2. Географическое положение ключевого участка (РФ) [по результатам исследований авторов]

Полевые исследования проводились в 2016 году [7]. Для проведения исследований на окраине соснового леса был заложен ключевой участок общей площадью 1 га (100×100 м), стороны которого ориентированы по сторонам света. Ключ располагается к юго-востоку от НОиСОК «Веневиново» на расстоянии 1 км в непосредственной близости от озера Чистое. Ключевой участок был заложен на пологом холме, вытянутом с запада на восток. Почвенный покров участка представлен дерново-лесными осветленными почвами с типичным для данного подтипа морфологическим строением профиля, физико-химическими и химическими свойствами (табл. 1, 2) (n.l. 51°48'471" e.l. 39° 23'918") (GPS Navigator Garmin Oregon 750 2017 Taiwan China). Для отбора проб почвы в пределах ключевого участка была наложена регулярная сеть опробования с шагом 20 м. Отбор образцов осуществлялся на глубину 0-30 см по узлам сети,

лабораторные исследования включали определение основных диагностических параметров плодородия по общепринятым стандартным методикам [7-11].

Почвенные образцы в разрезах отбирались послойно, согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-84. Во всех пробах были определены основные показатели экологического состояния почв по общепринятым методикам: валовой гумус по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова [11]; азот легкогидролизуемых соединений в щелочной вытяжке по А.Х. Корнфилду [11]; подвижный фосфор по Ф.В. Чирикову фотокolorиметрическим методом; обменный калий в некарбонатных почвах по Ф.В. Чирикову с пламеннофотометрическим окончанием, согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-84 [11]. Полученные данные статистически обрабатывали с использованием программ Vox Plot и Microsoft Excel. Полученные результаты анализа подвергались геостатистической обработке в программном пакете Surfer 13 [7-11].

Результаты и их обсуждение

Традиционно исследование пространственной пестроты параметров экологического состояния почв используется в агроэкологических исследованиях и при разработке систем точного земледелия, подразумевающих дифференцированное к условиям отдельных полей и их участков применение агротехнологий [12-15]. Все эти исследования подразумевают активное использование геоинформационных технологий, методов геостатистики и дистанционного зондирования.

С момента появления учения о структуре почвенного покрова предпринимались попытки проводить исследования пространственной изменчивости почв в лесных биогеоценозах. Так, Н.А. Взнуздаев, исследуя пространственную пестроту влажности лесных дерново-подзолистых почв, показал, что на пространственное варьирование этого параметра влияла удаленность точек отбора от стволов деревьев, тип и одно-родность травянистого растительного покрова [16]. Л.О. Карпачевским и Н.К. Киселевой отмечалось влияние факторов растительного покрова на изменчивость почвенных свойств, как в условиях лесных биоценозов, так и в степных растительных ассоциациях, наряду с влиянием других факторов. Подобная пестрота оп-

ределяется неравномерным распределением разлагающихся растительных остатков и минеральных компонентов разного состава, зависимостью от микроклиматических условий [17-18].

Для характеристики свойств почв необходимо использовать среднестатистические значения, но тогда достоверность уменьшится. Для наиболее наглядного представления о химическом составе дерново-лесной почвы ключевого участка нами использованы геостатистические методы исследования, составлены картосхемы (рис. 3-11).

Верхний 0-30 см слой дерново-лесной почвы на ключевом участке характеризуется средними и пониженными значениями физико-химических и химических свойств. Актуальная кислотность почв ключа изменяется в диапазоне 5,1-6,2 ммоль(экв) / 100 г почвы. Сумма обменных оснований в почвах ключевого участка не превышает 8,8 ммоль(экв) / 100 г почвы (размах варьирования 6,1-8,8 ммоль(экв) / 100 г почвы) с преобладанием кальция (5,9-7,2 ммоль(экв) / 100 г почвы), гидролитическая кислотность изменяется в интервале 2,2-3,9 ммоль(экв) / 100 г почвы. При этом почвы участка характеризуются средней и повышенной степенью насыщенности обменными основаниями

(66,1-78,2 %). Коэффициенты вариации по каждому показателю не превышают 20,0 %, что свидетельствует о слабой и средней изменчивости физико-химических свойств, максимальная изменчивость характерна для гидролитической кислотности (19,9 %).

В качестве основного фактора варьирования физико-химических свойств почв на ключевом участке выступают особенности организации рельефа. Так, максимальные значения актуальной кислотности наблюдаются на вершине холма (6,1 ммоль(экв) / 100 г почвы и выше), на склоне холма южной экспозиции (от 5,9 ммоль(экв) / 100 г почвы). В фоновых дерново-лесных почвах гидролитической кислотности $5,5 \pm 0,74$ ммоль(экв) / 100 г почвы. Аналогичные тенденции характерны и для содержания суммы обменных оснований $7,1 \pm 0,56$ ммоль(экв) / 100 г почвы в фоновой почве (табл. 1). Для показателей, характеризующих гидролитическую кислотность и степень насыщенности почв основаниями, пространственное варьирование определяется в первую очередь мощностью и особенностями химического состава подстилки и дернового горизонта.

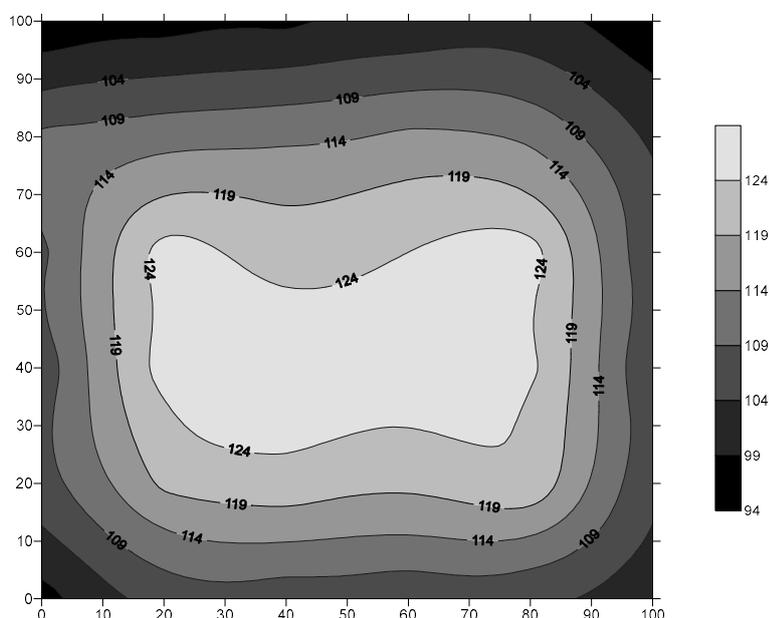


Рис. 3. Организация рельефа ключевого участка [по результатам исследований авторов]

Максимальные значения этих параметров наблюдаются на западном склоне, где в наибольшей степени развита травянистая растительность,

влияющая на мощность дернового горизонта, и мощность хвойной подстилки в среднем составляет 1 см.

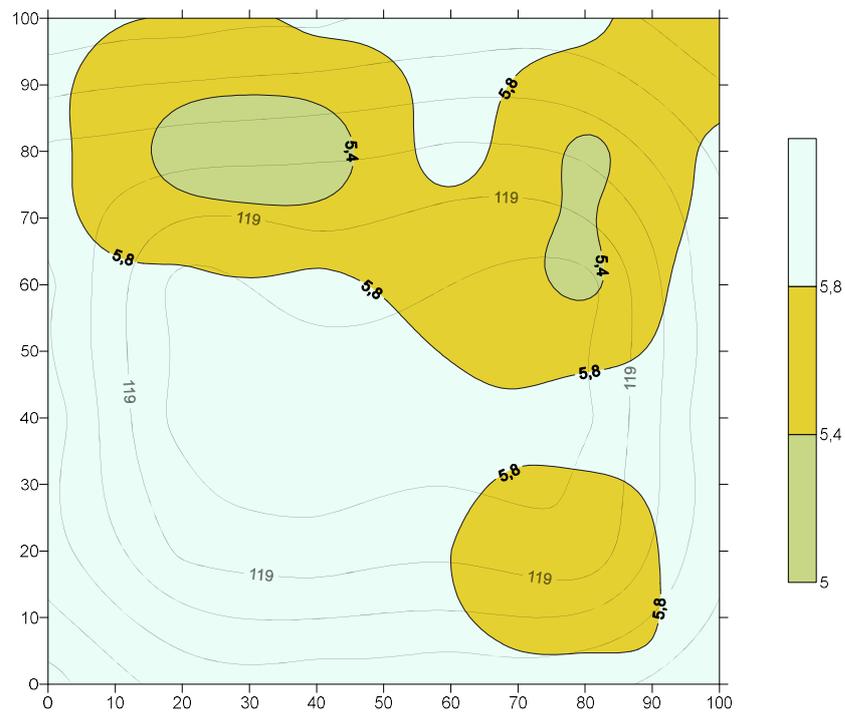


Рис. 4. Варьирование актуальной кислотности в дерново-лесных почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

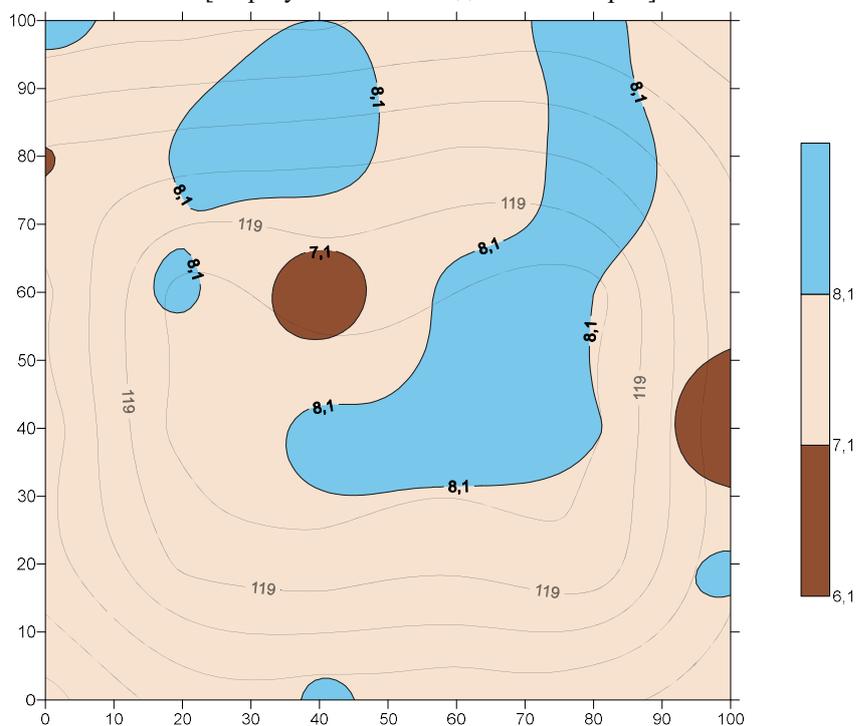


Рис. 5. Варьирование содержания суммы обменных оснований в дерново-лесных почвах ключа [по результатам исследований авторов]

Таблица 1

Статистические показатели физико-химических свойств в эталонных почвах ключа
[по результатам исследований авторов]

Глубина, см	n	рН _{Н2О}	H ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺
			ммоль (экв) / 100 г почвы	
			$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	
0-30	3 ¹	4.73 ² ±0.51	5.51±0.74 ³	7.08±0.56

Примечание: n¹ – количество образцов; x² – среднее арифметическое; $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ³ – среднее арифметическое с ошибкой среднего арифметического.

Таблица 2

Статистические показатели химических свойств в эталонных почвах ключа
[по результатам исследований авторов]

Глубина, см	n	Гумус, %	N _{щел.гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 г почвы		
			$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$		
0-30	3	3.18±0.58	6.24±0.76	5.53±0.75	5.62±0.71

Содержание гумуса в исследуемых дерново-лесных почвах составляет 0,4-3,2 %. Высокая степень неоднородности показателя подтверждается высоким значением коэффициента вариации (40,0 %). При этом на участке присутствуют ареалы с очень низким, низким и средним содержанием органического вещества по классификации, предложенной Л.А. Алаевой и Л.А. Яблонских [19]. Содержание гумуса в 0-30 см слое фоновых почвах составляет 3,18±0,58 (табл. 2).

Основным фактором варьирования содержания гумуса в верхнем слое дерново-лесных почв на ключевом участке является рельеф (рис. 6). Контур с повышенным содержанием гумуса приурочен к вершине холма, образовавшегося на террасном участке реки Усмань.

Отдельные небольшие пятна с повышенным содержанием наблюдаются на склоне восточной экспозиции с хорошо выраженным дерновым горизонтом и минимальным количеством лесной подстилки, представленной главным образом хвоей сосны обыкновенной. Контур с минимальным содержанием в основном сконцентрированы в пограничных областях исследуемого участка.

По содержанию доступных форм элементов питания почвы объекта исследования также отличаются высоким уровнем пространственной пест-

роты. Она закономерно возрастает в ряду калий – азот – фосфор: разница между максимальным и минимальными показателями варьировалась от 1,7 до 5,5 раз.

Содержание щелочногидролизуемого азота почвы участка изменяется в диапазоне 5,2-9,2 мг / 100 г почвы при коэффициенте вариации, равном 15,0 %. Содержание подвижного фосфора в гумусовом горизонте изучаемой почвы находится в диапазоне 4,9-8,2 мг / 100 г почвы при коэффициенте вариации, равном 13,6 %.

Содержание обменного калия варьируется в интервале 2,5-13,8 мг / 100 г. Нельзя не отметить большой разброс в показателях K₂O: разрыв между некоторыми образцами достигает 10 мг / 100 г почвы при коэффициенте варьирования, равном 40,5 %, что свидетельствует о высоком уровне неоднородности данного показателя (рис. 7). В качестве факторов, лимитирующих пестроту содержания доступных форм элементов питания, следует выделить: особенности микро- и мезорельефа, плотность травянистой растительности и мощность подстилки. Как правило, участки с максимальным содержанием подвижных форм элементов питания приурочены к вершине холма, а также участкам склона с максимальной мощностью дернового горизонта и минимальной мощностью подстилки.

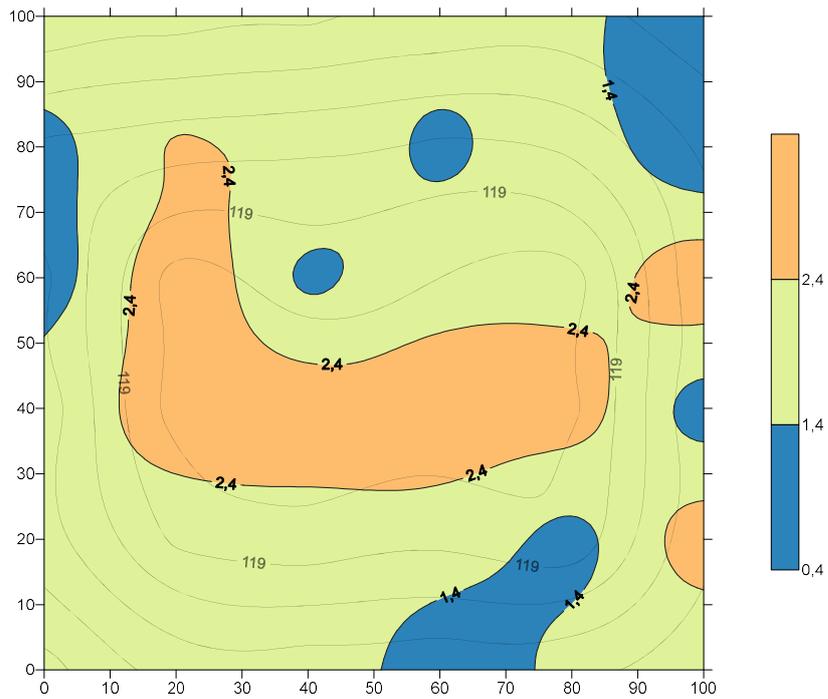


Рис. 6. Пространственная пестрота содержания гумуса в дерново-лесных почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

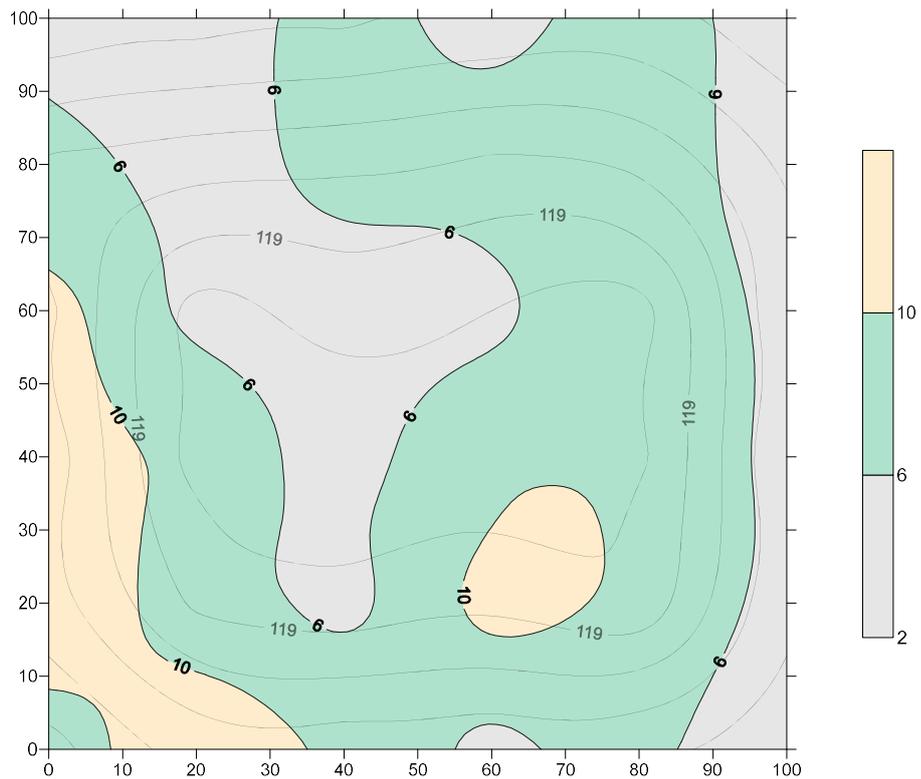


Рис. 7. Пространственная изменчивость содержания обменного калия в почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

Участки с минимальным содержанием элементов питания совпадали с участками склона, на которых сформировалась наиболее мощная подстилка из хвои, обедненная азотом, фосфором и калием, и с наименьшей плотностью травянистой растительности, которая выступает в качестве основного источника биогенных элементов и органического вещества.

Выводы

На исследованном ключевом участке, расположенном на территории Усманского бора, отмечается достаточно высокий уровень пространственного варьирования показателей экологического состояния дерново-лесных почв, даже при достаточно однородном почвенном покрове. В качестве факторов, определяющих пестроту пространственного

варьирования, выступают: формы мезорельефа (склоновые ландшафты), микрорельеф (наличие микропонижений), состав и плотность различных видов растений, микроклимат. Практически все экологические свойства почв на ключевом участке в своих показателях охватывают 2, а то и 3 уровня градаций.

В большинстве исследованных экологических условий почвообразовательного процесса выявлены закономерные взаимозависимости от рельефа ключевого участка. Но данная зависимость не является прямой, поскольку рельеф влияет на растительность, микроклимат, водный баланс, определяющие величину пространственного варьирования изучаемых физико-химических и химических свойств дерново-лесных почв.

Библиографический список

1. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn / P. C. Scharf, N. R. Kitchen, K. A. Sudduth [et al.] // *Agronomy Journal*. – 2005. – Vol. 97. – No 2. – P. 452–461. – DOI 10.2134/agronj2005.0452.
2. Remote sensing the spatial distribution of crop residues / C. S. T. Daughtry, E.R. Hunt Jr.; P.C. Doraiswamy, J. E. McMurtrey III // *Agronomy Journal*. – 2005. – Vol. 97. – P. 864–871. – DOI 10.2134/agronj2003.0291.
3. Морев, Д. В. Агроэкологическая оценка земель в условиях зонального ряда агроландшафтов с повышенной пестротой почвенного покрова: специальность 03.02.08 «Экология (биология)»: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Морев Дмитрий Владимирович; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2017. – 25 с.
4. Белик, А. В. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв ближнего Подворонежья / А. В. Белик, Г. А. Зорин // *Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: сб. ст. междунар. науч.-практ. конференции (Воронеж, 6-7 сентября 2017 г.)*. – Москва: ООО «Актуальность.РФ», 2017. – С. 10–12.
5. Deviatova, T. A. Basic property analysis of sod-forest soil covered by a forest fire in the territory of Usmansky pinery (RF) / T. A. Deviatova, Yu. S. Gorbunova, I. V. Rumyantseva // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2019. – Vol. 392. – P. 012048. – DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012048.
6. Effect of forest fire on mercury content in soddy podburs of typical forest-steppe environments (Voronezh region, Russia) / Yu. G. Udodenko, V. T. Komov, Ju. S. Gorbunova, T. A. Devyatova // *Ecosystem transformation*. – 2019. – Vol. 2. – P. 75–85. – DOI: 10.23859/estr-180413.
7. ISO 18400-206:2018 Soil quality – Sampling – Part 206: Collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory: international standard; publication date 11.2018. – 18 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
8. ISO 10390:2005 Soil quality – Determination of pH: international standard; publication date 02.2005. – 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
9. ISO 10694:1995 Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis): international standard; publication date 03.2005. – 7 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
10. ISO 11260:2018 Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution: international standard; publication date 05.2018. – 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).

11. Жаппарова, А. А. Агрохимические методы анализа почв, растений и удобрений : учеб. пособие / А. А. Жаппарова ; М-во науки и образования Республики Казахстан, Казахский национальный аграрный университет. – Алматы, 2012. – 98 с.
12. Matejkova, S. Evaluation of crop yield under different nitrogen doses of mineral fertilization / S. Matejkova, J. Kumhalova, J. Lipavsky // *Plant soil environ.* – 2010. – Vol. 56 (4). – P. 163–167. – DOI: 10.17221/196/2009-PSE.
13. Мелиховская, П. В. Изучение пространственной изменчивости свойств почв геостатистическими методами : специальность 03.02.13 «Почвоведение» : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Мелиховская Полина Владимировна ; МГУ. – Москва, 2011. – 22 с.
14. Экология и география почв : сб. тр. / под ред. П. В. Красильникова. – Петрозаводск : Институт биологии Карельского научного центра РАН, 2009. – 215 с. – ISBN 978-5-9274-0395-0:300.
15. Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Nesho Mountainous Rangelands / H. Kavianpoor, A. E. Ouri, Z. J. Jeloudar, A. Kavia // *American Journal of Environmental Engineering.* – 2012. – Vol. 2 (1). – P. 34–44. – DOI:10.5923/j.ajee.20120201.06.
16. Взнуздаев, Н. А. Пространственная изменчивость почвенной влажности и ее связь со структурой лесного биогеоценоза / Н. А. Взнуздаев // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 123–170.
17. Карпачевский, Л. О. Изменчивость свойств почвы в зависимости от структуры биогеоценоза / Л. О. Карпачевский // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 138–149.
18. Киселева, Н. К. Варьирование содержания обменных кальция, магния и алюминия в дерново-подзолистых почвах широколиственных лесов / Н. К. Киселева // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 130–138.

References

1. Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A. (et al.) (2005) Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. *Agronomy Journal*, Vol. 97, No 2, pp. 452-461. DOI 10.2134/agronj2005.0452.
2. Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. (2005) Remote sensing the spatial distribution of crop residues. *Agronomy Journal*, Vol. 97, pp. 864-871. DOI 10.2134/agronj2003.0291.
3. Morev D.V. *Agroekologicheskaya otsenka zemel' v usloviyakh zonal'nogo ryada agrolandshaftov s povyshennoj pestrotoj pochvennogo pokrova: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Agroecological assessment of land in the zonal range of agrolandscapes with increased variegation of soil cover: PhD (Biology) thesis abstr.]. Moscow, 2017. 25 p. (in Russian).
4. Belik A.V. *Prostranstvennoe var'irovanie pokazatelej ehkologicheskogo sostoyaniya dernovo-lesnykh pochv blizhnego Podvonezh'ya* [Spatial variation of indicators of the ecological state of sod-forest soils under Voronezh]. *Zelenaya infrastruktura gorodskoj sredy: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh 6-7 sentyabrya 2017 goda)* [Green infrastructure of the urban environment: current status and development prospects: proceedings of the international scientific and practical conference (Voronezh September 6-7, 2017)]. Moscow: Actuality.Russia Ltd, 2017, pp. 10-12 (in Russian).
5. Deviatova T.A., Gorbunova Yu.S., Rummyantseva I.V. (2019) Basic property analysis of sod-forest soil covered by a forest fire in the territory of Usmansky pinery (RF) *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2019. Vol. 392, p. 012048. DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012048.
6. Udodenko Yu.G., Komov V.T., Gorbunova Ju.S., Devyatova T.A. (2019) Effect of forest fire on mercury content in soddy podburs of typical forest-steppe environments (Voronezh region, Russia). *Ecosystem transformation*, Vol. 2, pp. 75-85. DOI: 10.23859/estr-180413.
7. ISO 18400-206:2018 Soil quality – Sampling – Part 206: Collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory: international standard, publication date – 11.2018, 18 p. (ISO, Geneva, Switzerland).

8. ISO 10390:2005 Soil quality – Determination of pH: international standard, publication date – 02.2005, 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
9. ISO 10694:1995 Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis): international standard, publication date – 03.2005, 7 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
10. ISO 11260:2018 Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution): international standard, publication date – 05.2018, 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
11. Zhapparova A.A. *Agrokhimicheskie metody analiza pochv, rastenij i udobrenij: ucheb. posobie* [Agrochemical methods for the analysis of soils, plants and fertilizers: textbook]. Ministry of science and education of the Republic of Kazakhstan, Kazakh National Agrarian University, Almaty, 2012, 98 p. (in Russian).
12. Matejkova S., Kumhalova J., Lipavsky J. (2010) Evaluation of crop yield under different nitrogen doses of mineral fertilization. *Plant soil environ.*, Vol. 56 (4), pp. 163-167. DOI: 10.17221/196/2009-PSE.
13. Melikhovskaya P.V. *Izuchenie prostranstvennoj izmenchivosti svojstv pochv geostatisticheskimi metodami: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [The study of spatial variability of soil properties by geostatistical methods: PhD (Biology) thesis abstr.]. Moscow, 2011, 22 p. (in Russian).
14. *Ekologiya i geografiya pochv: sbornik trudov* [Ecology and geography of soils: proceedings] / ed. by P.V. Krasilnikov; Petrozavodsk: Institute of Biology, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 2009, 218 p. ISBN 978-5-9274-0395-0:300 (in Russian).
15. Kavianpoor H., Ouri A.E., Jeloudar Z.J., Kavia A. (2012) Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Nesho Mountainous Rangelands. *American Journal of Environmental Engineering*, Vol. 2 (1), pp. 34-44. DOI:10.5923/j.ajee.20120201.06.
16. Vznuzdaev N.A. *Prostranstvennaya izmenchivost' pochvennoj vlazhnosti i ee svyaz' so strukturoj lesnogo biogeotsenoza* [Spatial variability of soil moisture and its relationship with the structure of forest biogeocenosis]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 123-170 (in Russian).
17. Karpachevsky L.O. *Izmenchivost' svojstv pochvy v zavisimosti ot struktury biogeotsenoza* [Variability of soil properties depending on the structure of biogeocenosis]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 138-149 (in Russian).
18. Kiseleva N.K. *Var'irovanie sodержaniya obmennykh kal'tsiya, magniya i alyuminiya v derno-podzolistykh pochvakh shirokolistvennykh lesov* [Variation of the content of exchangeable calcium, magnesium and aluminum in sod-podzolic soils of deciduous forests]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 130-138 (in Russian).

Сведения об авторах

Белик Антон Викторович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: belik@bio.vsu.ru.

Горбунова Юлия Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: gorbunova@bio.vsu.ru.

Девятова Татьяна Анатольевна – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru.

Алаева Лилия Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: liliya-250477@yandex.ru.

Information about authors

Belik Anton Viktorovich – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: belik@bio.vsu.ru.

Gorbunova Yulia Sergeevna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: gorbunova@bio.vsu.ru.

Devyatova Tatyana Anatolyevna – DSc (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru.

Alaeva Liliya Aleksandrovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: liliya-250477@yandex.ru.