

УДК 551.34:631.48:519.2

**ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ МАГНИТНОЙ  
ВОСПРИИМЧИВОСТИ ЧЕРНОЗЕМОВ ЦЕНТРА  
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ**

© 2011 В.М. Алифанов<sup>1,2</sup>, И.М. Вагапов<sup>2</sup>, Л.А. Гугалинская<sup>1,2</sup>, А.Ю. Овчинников<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
г. Пущино<sup>2</sup> Пущинский государственный университет

Поступила в редакцию 12.05.2011

На примере результатов изучения магнитной восприимчивости (МВ) изучены закономерности пространственной вариабельности почвенных свойств, обусловленные современными и древними процессами. Результаты геостатистического анализа и анализа морфологического строения исследованных почв показывают, что выявленная значительная изменчивость МВ обусловлена наличием признаков палеокриогенеза (полигонального микрорельефа, клиньев, карманов, заклинков различных генераций, а также солифлюкционных языков и фестонов). Показано, что в горизонтах погребенной почвы максимальное варьирование значений МВ наблюдается на расстояниях, вдвое меньших, чем в современной почве. Для всех линий опробования вариография показала среднюю и сильную пространственную зависимость данных, за исключением горизонта А1<sub>старонах</sub>.

Ключевые слова: *палеокриогенез, магнитная восприимчивость, пространственная вариабельность*

Палеогеографические аспекты формирования почвенного покрова центра Восточно-Европейской равнины, связанные с проявлением на современной дневной поверхности реликтового полигонально-блочного микрорельефа, изучаются с конца прошлого века [1]. Существование древней полигонально-блочной структуры почвенного покрова методами статистического анализа впервые было подтверждено авторами, обнаружившими на полувариограммах наличие колебательной составляющей с периодом 30-50 м в распределении некоторых физических и физико-химических показателей в гумусовом горизонте [2]. В данной работе для выявления роли палеокриогенеза в функционировании современных почв впервые исследовались закономерности вертикального (профильного) пространственного варьирования величин магнитной восприимчивости (МВ) – показателя, определяемого без

какого-либо разрушения (химического или физического) образцов почв, что обеспечивает картину их распределения, близкую к природной. В задачи исследования входило: разработать методы изучения МВ в профилях почв, сформированных под воздействием криогенеза (погребенных криоморфных почв) и почв, сформированных, под влиянием палеокриогенеза (современных почв на разных элементах погребенного палеокриогенного микрорельефа, выраженного на современной дневной поверхности); исследовать закономерности пространственной изменчивости МВ и оценить роль палеокриогенеза в их пространственном распределении.

Съемка МВ проводилась каппаметром КТ-6 в узлах регулярной сетки с размерами ячеек 20×20 см. Статистическая обработка результатов измерений проводилась в программе Excel, а построение семивариограмм и топоизоплет пространственного распределения МВ – в программе Surfer. Пространственная вариабельность МВ изучалась в почвенно-грунтовой толще, состоящей из современного выщелоченного и оподзоленного чернозема и серии погребенных почв (разрез 1-2010 длиной более 12 м, глубиной 4 м; Тульская область, Веневский район; схема строения разреза показана в

---

*Алифанов Валерий Михайлович, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией. E-mail: alifanov\_v@mail.ru*

*Вагапов Ильдар Махмудович, аспирант*

*Гугалинская Любовь Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник. E-mail: gugali@rambler.ru*

*Овчинников Андрей Юрьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент. E-mail: ovchinnikov\_a@inbox.ru*

статье Л.А. Гугалинской и др. в настоящем томе). Особенность строения разреза 1-2010 заключается в большом количестве хорошо сохранившихся реликтов палеокриогенеза – выклинивании горизонтов, взаимопроникновении горизонтов друг в друга в виде клиньев, заклинков и карманов. Наиболее выраженные из перечисленных форм отклонены от вертикали влево (вниз по склону), имеют большое количество грубодисперсного обломочного материала, кроме того профиль содержит горизонты криоморфных погребенных почв (ПП). В таблице показаны результаты статистического

анализа данных распределения МВ для 6 горизонтальных линий опробования, выбранных из общего количества полученных в поле данных. При сравнении средних значений МВ выявляется следующая последовательность: сначала значения МВ закономерно уменьшаются с глубиной, но в профилях ПП они снова увеличиваются до значений МВ, характерных для современной почвы. Высокая дисперсия в этих горизонтах связана как с аномально высокими, так и низкими значениями МВ, на что указывают результаты квантильного анализа.

**Таблица.** Статистические характеристики распределения МВ ( $\times 10^{-3}$  ед. СИ) в пределах линий опробования (Венёвский район, Тульская обл.)

Параметр	Линии опробования*					
	1	2	3	4	5	6
объем выборки	60	60	60	55	60	60
среднее	0,66	0,52	0,37	0,33	0,32	0,64
дисперсия	0,003	0,002	0,004	0,005	0,002	0,071
ст. отклонение	0,05	0,04	0,07	0,07	0,05	0,27
коэффициент вариации, %	7,7	7,5	17,9	21,3	15,3	41,9
минимум	0,55	0,42	0,24	0,23	0,24	0,21
нижний квартиль	0,63	0,50	0,33	0,27	0,27	0,43
медиана	0,66	0,53	0,36	0,32	0,33	0,63
верхний квартиль	0,70	0,55	0,42	0,37	0,35	0,77
максимум	0,78	0,61	0,52	0,46	0,46	1,59

Примечание.\* 1 – вдоль горизонта А1<sub>ст.пах.</sub>, 2 – вдоль нижней границы горизонта А1А2, 3 – вдоль горизонта В1А1А2, 4 – вдоль горизонта В2, 5 – вдоль нижней границы горизонта В2, 6 – вдоль нижней границы горизонта [А1].

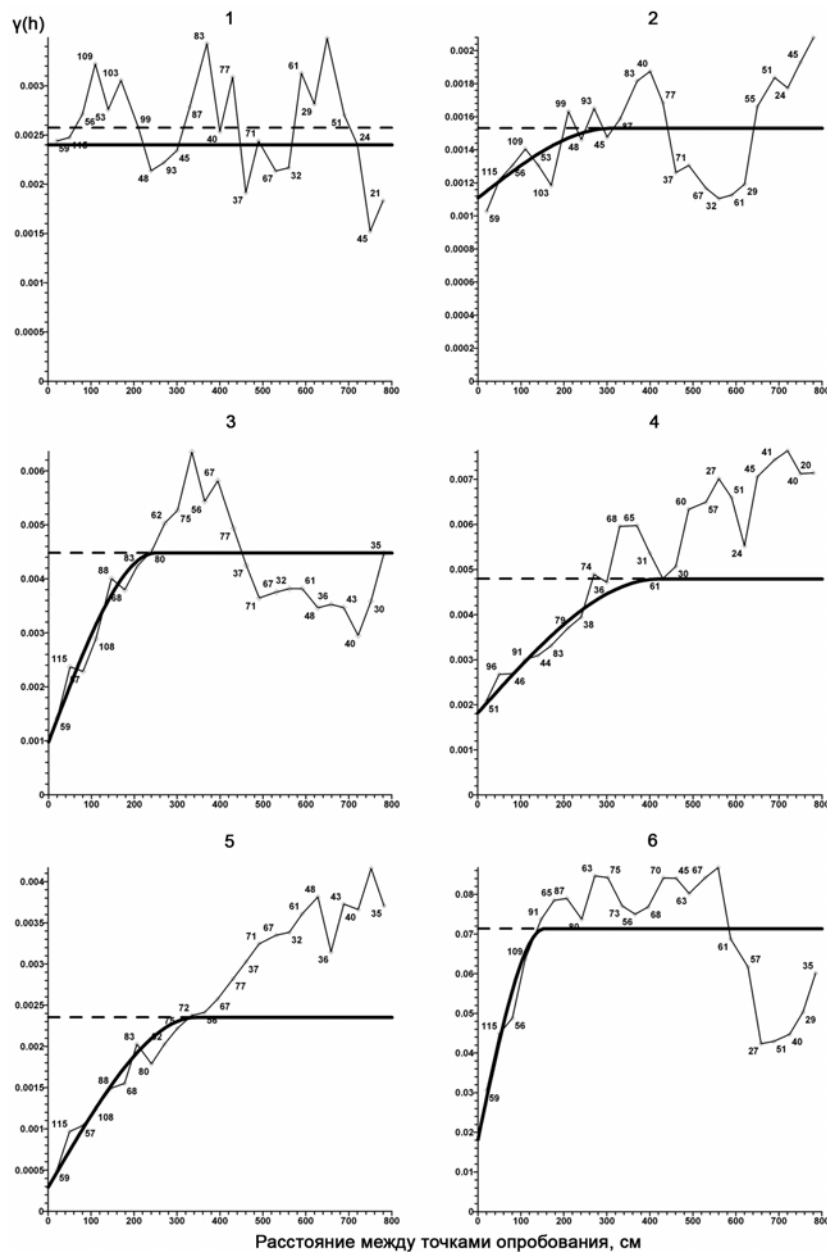
Считается, что многие закономерности пространственного варьирования почвенных свойств проявляются в неявной форме и не могут быть выявлены путем непосредственного наблюдения [3]. Поэтому для оценки возможного влияния на современный почвенный покров признаков палеокриогенеза нами использовался метод вариографии. Для 6 линий опробования были построены экспериментальные семивариограммы – графики зависимости полудисперсии МВ  $\gamma(h)$  от величины смещения  $h$ . Экспериментальное значение полудисперсии МВ рассчитывалось по формуле:

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

где  $N(h)$  – количество пар точек, удаленных друг от друга на расстояние  $h$ ,  $z(x_i)$  и  $z(x_i + h)$  – значения МВ в точках  $x_i$  и  $x_i + h$  [5].

Для аппроксимации экспериментальных семивариограмм были использованы сферические модели. Вид представленных семивариограмм имеет характерные особенности и изменяется с глубиной опробования (рис. 1).

Семивариограмма, построенная для 1-ой линии опробования вдоль гор. А1<sub>старопах.</sub>, отражает 100% «нагетт»-эффект, что свидетельствует об отсутствии пространственных зависимостей. В гор. А1А2 и В1А1А2 (2-я и 3-я линии) радиус корреляции ( $a$ ) составил 250-290 см, а в гумусовом горизонте ПП (линия 6) – 150 см. В гор. В2 и В3 (4-я 5-я линии) полудисперсия с ростом шага опробования постепенно увеличивается и для рассматриваемого диапазона шагов не выходит на плато. На семивариограммах на расстояниях, превышающих радиус корреляции, в большей или меньшей степени выражена периодическая составляющая, что означает регулярно повторяющиеся элементы в ландшафте, однако эти данные следует считать предварительными. Величина  $a$  показывает, что максимальное варьирование значений МВ в горизонтах ПП наблюдается на расстояниях вдвое меньших, чем в вышележащей толще. Для всех линий опробования вариография показала среднюю и сильную пространственную зависимость данных, за исключением горизонта А1<sub>старопах.</sub>

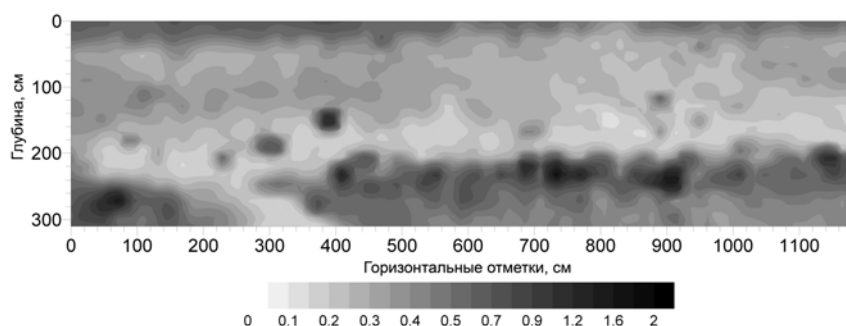


**Рис. 1.** Семивариограммы магнитной восприимчивости, построенные для шести линий опробования (пунктирная линия – величина дисперсии, жирная – модель; цифры у точек указывают количество пар, используемых в анализе):

1 – вдоль горизонта  $A1_{\text{старопах}}$ , 2 – вдоль нижней границы горизонта  $A1A2$ , 3 – вдоль горизонта  $B1A1A2$ , 4 – вдоль горизонта  $B2$ , 5 – вдоль нижней границы горизонта  $B2$ , 6 – вдоль нижней границы горизонта  $[A1]$ .

На рис. 2 представлены топоизоплеты пространственного распределения МВ. Для построения топоизоплет использовался метод кригинга, принцип которого основан на определении весов значений переменной в окрестных точках для оценки значения переменной в искомой точке или области. При этом вес каждой точки определяется по вариограмме [по 4]. Как видно из рис. 2, распределение величин МВ сильно варьирует в пространстве, причем левая половина разреза (участок с горизон-

тальными отметками 0-6 м) имеет более сложную структуру по сравнению с правой. Усложненность здесь выражается более глубоким распространением горизонтов современного чернозема с более оподзоленным материалом, обладающих высокими значениями МВ, а также в наличии языковатых структур, которых нет справа (на участке 6-12 м). Кроме того, в левой части разреза на глубине ниже 100-120 см указанные структуры имеют субгоризонтальное залегание.



**Рис. 2.** Пространственное распределение величин магнитной восприимчивости ( $\times 10^{-3}$  ед. СИ) в толще разреза-обнажения 1-2010

В целом распределение МВ на топоизо-плетах соответствует статистическим характеристикам, представленным в таблице. На глубине 210 см резкое увеличение значений МВ показывает наличие литологической границы, которая соответствует верхней границе гор. [A1] ПП. Максимальные значения МВ ( $1,44-3,03 \times 10^{-3}$  ед. СИ) обнаруживаются в гор. [A1B] ПП. Этот факт дает основание предполагать, что гор [A1B], выделенный как генетический горизонт ПП, на самом деле является самостоятельной ПП, соединенной с вышележащей, тоже самостоятельной ПП, при описании разреза в поле обозначено как гор. [A1]. Предположение вытекает из известной для современных почв закономерности уменьшения значений МВ от верхней части гумусового горизонта к нижней. В районе с горизонтальными отметками 1-4 м выявленная литологическая граница в виде крупного «клина», отклоненного от вертикали влево под углом в  $30-40^\circ$ , уходит в дно разреза.

При сравнении результатов статистического анализа, анализа топоизоплет и морфологического строения исследованных почв видно, что значительная изменчивость МВ в пределах постоянных глубин обусловлена наличием отчетливо выраженных признаков палеокриогенеза, которые проявляются в виде трещинных образований (клиньев, карманов и заклинков различных генераций), а также солифлюкционных фестончатых наплывов.

**Выводы:**

1. Для всех линий опробования, расположенных по всему профилю исследованного разреза, вариография показала среднюю и сильную пространственную зависимость данных, за исключением горизонта A1<sub>старопах</sub>.

2. Погребенная почва, в профиле которой морфологически были выделены два гумусовых генетических горизонта, представляет собой две самостоятельные, наложенные друг на друга (сдвоенные) погребенные почвы.

3. Все семивариограммы распределения МВ, аппроксимированные сферическими мо-

делями, показали, что в горизонтах погребенной сдвоенной почвы максимальное варьирование значений МВ существует на расстояниях вдвое меньших, чем в вышележащей толще. Этот факт предполагает, что условия почвообразования обеих погребенных почв значительно отличались от современных условий почвообразования;

4. Каппаметрия позволила обнаружить ряд признаков, выявление которых морфологически было затруднено, а именно:

- достоверно выявить в разрезе блочное повышение (участок в районе с горизонтальными отметками около 8-9 м) и межблочное понижение (около 2-3 м);

- показать, что гор. В4 (глубина около 120 см), обладая более высокими значениями МВ в районе межблочного понижения, является самостоятельным элементарным почвенным образованием (слабовыраженной погребенной почвой), условия формирования которого отличались от таковых в перекрывающем и подстилающем слоях толщи;

- подтвердить, что морфологически наиболее отчетливо выраженные в межблочье солифлюкционные нарушения сформировались выше выявленной на топоизоплетах палеокриогенной клиновидной структуры; также удалось показать, что именно выявленная клиновидная структура, будучи древнее солифлюкционных нарушений, послужила причиной формирования над ней межблочного понижения, которое, в свою очередь, оказывает достаточно сильное влияние на современные почвенные процессы, в частности водно-физические.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 11-04-00354, № 11-04-01083), Программы Президиума РАН (подпрограмма 2), Программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код 2.1.1/13314.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алифанов, В.М. Палеогеографические аспекты формирования серых лесных почв // Генезис, плодородие и мелиорация почв. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1980. С. 44-58.

2. Гумматов, Н.Г. Геоestatистический анализ пространственной изменчивости водоудерживающей способности серой лесной почвы / Н.Г. Гумматов, С.В. Жиромский, Е.В. Мироненко и др. // Почвоведение. 1992. №6. С. 52-62.
3. Красильников, П.В. Вариография дискретных почвенных свойств // Экология и география почв. – Петрозаводск, 2009. С. 10-29.
4. Сидорова, В.А. Изменение пространственной вариабельности почвенных свойств в результате антропогенного воздействия // Экология и география почв. – Петрозаводск, 2009. С. 30-47.
5. Сидорова, В.А. Почвенно-географическая интерпретация пространственной вариабельности химических и физических свойств поверхностных горизонтов почв степной зоны / В.А. Сидорова, П.В. Красильников // Почвоведение. 2007. №10. С. 1168-1178.

**PALEOCRYOGENESIS AND REGULARITIES OF SPATIAL  
VARIATION OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY IN THE BLACK  
SOILS IN THE CENTRE OF EAST EUROPEAN PLAIN**

© 2011 V.M. Alifanov<sup>1,2</sup>, I.M. Vagapov<sup>2</sup>, L.A. Gugalinskaya<sup>1,2</sup>, A.Yu. Ovchinnikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino

<sup>2</sup> Pushchino State University

The regularities of soil properties spatial variation, arisen due to the recent and paleocryogenic processes, have been studied on the example of magnetic susceptibility (MS). The results of statistical analysis, analyses of topoisopleths and morphological features of the pit 1-2010 (Tula aria, N 54°38', E 38°28') showed that significant variability of MS due to the presence of distinctly expressed features of paleocryogenesis, which was manifested in the form of wedges and pockets of different generations, as well as solifluction. The horizons of maximum variation values of MS observed at distances less than half in overlying strata in the buried soil. For all lines of sampling variography showed moderate and strong spatial dependence of data, except the A1 old arable horizon.

Key words: *paleocryogenesis, magnetic susceptibility, spatial variation*

---

*Valeriy Alifanov, Doctor of Biology, Professor, Head of the Laboratory.*

*E-mail: alifanov\_v@mail.ru*

*Ildar Vagapov, Post-graduate Student*

*Lyubov Gugalinskaya, Doctor of Biology, Professor, Leading Research*

*Fellow. E-mail: gugali@rambler.ru*

*Andrey Ovchinnikov, Candidate of Biology, Senior Research Fellow,*

*Associate Professor. E-mail: ovchinnikov\_a@inbox.ru*