

# ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В НАУЧНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

УДК 631.41

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ArcGIS GEOSTATISTICAL ANALYST ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА КИСЛОТНОСТИ И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

**А.Л. Киндеев<sup>1</sup>, Е.А. Мейлук<sup>1</sup>, Ф.Ю. Данилович<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>магистрант кафедры почвоведения и ЗИС географического факультета  
Белорусского государственного университета, г. Минск, AKindeev@tut.by*

*<sup>2</sup>инженер-почвовед РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск*

**Н.В. Клебанович**

*профессор кафедры почвоведения и ЗИС географического факультета  
Белорусского государственного университета, Минск*

Рассматривается геостатистический подход при пространственном анализе кислотности и влажности почвенного покрова на опытном участке. На основании показателей описательной статистики получено представление о нормальности распределение данных. При помощи модуля ArcGIS Geostatistical Analyst произведен анализ анизотропии и вариограмм, а также построены картограммы анализируемых свойств. Продемонстрированы различия между картограммами построенными различными кригинг-процедурами.

**Ключевые слова:** структура почвенного покрова; геостатистика; анизотропия; вариограмма; кригинг; влажность; кислотность.

В конце 19 века наряду со становлением генетического почвоведения, усилиями В.В. Докучаева и его учеников была доказана необходимость исследования пространственной вариабельности почв и заложены основы почвенного картографирования. На протяжении XX века почвоведение обогащалось новыми теориями и научными направлениями, изучающие те или иные предметные области науки.

Одним из таких направлений является концепция о структуре почвенного покрова, изложенная В.М. Фридландом в его одноименном труде в 1972 г. Согласно этой концепции, на картах в виде дискретных ареалов отражаются типизированные почвенно-географические единицы разных уровней организации: элементарные почвенные ареалы (ЭПА), элементарные почвенные структуры, мезоструктуры [1]. Они составляют основу

для различных специальных карт прикладной направленности: агроэкологических, мелиоративных, лесохозяйственных и других групп земель.

Наряду с картированием почвенного покрова в целом, значительное внимание уделялось выявлению пространственных закономерностей распределения отдельных почвенных свойств. Значительным шагом в этом направлении является начало цифрового почвенного картографирования (ЦПК) в 1980-ые годы. На сегодняшний день существует две группы методов ЦПК, которые можно разделить на косвенные и прямые.

Основным толчком развития прямых методов картографирования почв является внедрение в 1980-ых годах геостатистического подхода в почвоведение, который предполагает: непрерывность в пространстве, переменные как результат случайного процесса, нахождение процесса в неподвижном состоянии при движении от точки к точке и описание вариации этих процессов в терминах пространственной зависимости. Геостатистика явилась альтернативой классификации для представления пространственных изменений и активно применяется за рубежом в «точном земледелии», оценке загрязнения и восстановлении нарушенных земель [2].

В основе геостатистического подхода при изучении пространственной variability почвенных свойств лежит алгоритм, включающий в себя статистическую обработку данных, построение и анализ математических моделей (вариограмм) и описание пространственной вариации, на основании которой проводится геостатистическое моделирование и строятся итоговые картограммы.

Целью настоящего исследования является изучение пространственной variability кислотности и влажности почвы на опытных участках при помощи геостатистических методов, обоснование их применения при построении картограмм изучаемых свойств, а также определение степени воздействия антропогенного фактора на гетерогенность исследуемых свойств.

Объектом исследования послужил опытный участок, заложенный на территории Воложинского района Минской области, в окрестностях учебной географической станции «Западная Березина» и представленный лесным массивом площадью 3,8 га, с которого было отобрано 30 образцов.

Основные статистические параметры влажности и кислотности опытного участка приведены в таблице 1.

Анализируя распределение данных по влажности почвы на опытных участках, предварительное заключение об отсутствии лево- или правосторонней асимметрии можно сделать на основе незначительного различия между показателями моды (12,8), медианы (12,8) и среднего (12,2). В свою очередь, для pH разбежка значений между указанными статистическими параметрами более существенна и составляет 0,85 между модой и средним, что говорит о возможном наличии отклонения графика. Степень и

направление отклонения определяется коэффициентом асимметрии и его предельным значением (+/- 0,55). Отрицательное значение говорит о левостороннем отклонении, положительное – о правостороннем. Исходя из этого, данные по влажности практически симметричны (0,09), а ряд данных по кислотности имеет незначительную правостороннюю асимметрию (0,81).

Таблица 1

**Статистические параметры опытных участков**

Показатель	Лес (№1)	
	Влажность	pH
Количество образцов	30	
Дисперсия	14,3	1,10
Коэффициент вариации	28,8%	17,81%
Асимметрия	0,09	0,81
Эксцесс	1,18	-0,41
Предельное значение А	0,55	
Предельное значение Э	0,97	
Мода	12,8	5,03
Медиана	12,8	5,59
Среднее арифметическое	13,2	5,88
Ср.кв.откл	3,78	1,05
Коэффициент вариации Н+		112,9%
Корреляция Пирсона	-0,18	

Дальнейшая обработка данных при геостатистическом подходе предполагает выявление тренда, исследование и моделирование пространственной корреляции (вариография) и построение итоговых картограммы.

Анализ тренда выполняется при помощи линий наилучшего соответствия (полином), которые проведены через проецируемые точки, показывая тренды в определенных направлениях (рис. 1). Если бы линии были параллельны осям X (зеленая линия) или Y (синяя линия), это означало бы, что трендов нет.

Полином значений влажности образует U-образную выпуклую форму по направлению с запада на восток, что говорит об увеличении значений влажности в центре участка. Синяя линия, отражающая направление юг-север, начинается с высоких значений кислотности на юге и после достижения центра оси У плавно снижается к северной части участка. Значения влажности, как и по направлению с запада на восток, имеют прямо противоположную форму полинома – начинаясь с низких значений на севере, плавно увеличиваясь к югу.

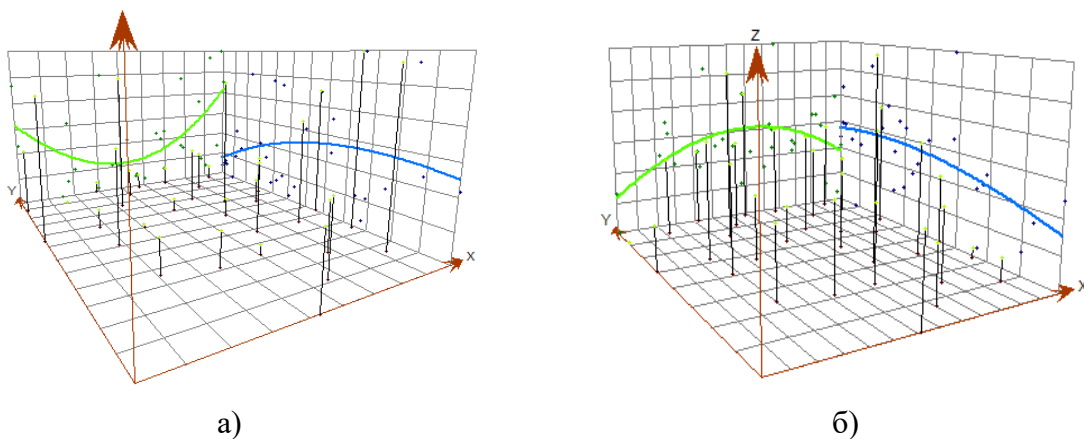


Рис. 1 – Анализ тренда при угле 0 градусов: а) кислотности; б) влажности

Для значений влажности и кислотности полиномы направлений имеют разные формы, это говорит об отсутствии общего тренда во всех направлениях и различиях между пространственной автокорреляцией в разных направлениях, т.е. о наличии анизотропии.

Таким образом, анализ пространственного варьирования изучаемых свойств почвы на опытных участках позволил выявить тренд, характеризующийся полиномом второго порядка, и определить направление анизотропии, которая должна учитываться при подборе экспериментальной вариограммы.

В результате удаления трендов вариограммы станут моделями пространственной автокорреляции между точками данных. Тренды будут автоматически включены обратно в расчеты перед созданием результирующей поверхности.

При построении итоговых картограмм для удаления имеющихся трендов был использован ординарный кригинг с преобразованием 2-го порядка, который соответствует U-образной форме полинома (рисунок 2). При подборе экспериментальных моделей к эмпирическим для свойств исследуемого участка выяснилось, что классические модели, такие как гауссова, экспоненциальная или круговая, значительно отличаются от эмпирической вариограммы. В связи с этим, при помощи визуального сходства было решено использовать довольно редкую модель J-Бесселя.

Таким образом, в ходе геостатистического анализа данных о пространственном распределении значений кислотности и влажности на исследуемом участке, были получены картограммы (рисунки 2–3), максимально соответствующие действительности. Кроме того, благодаря методу вариографии были получены количественные показатели, отражающие пространственную автокорреляцию данных – самородок (англ. nugget), порог, ранг и лаг, представленные в таблице 2.

Параметры моделей вариограмм лесного участка

Показатель	Лаг, м	Наггет, $C_0$	Порог, $C_0+C$	Ранг, м.	Остаточная дисперсия $C_0(C_0+C)$ , %
Кислотность	15	0,17	0,63	68	26,9
Влажность		0,36	0,74	109	48,6

Значения самородка на участке № 1 равняются 0,17 и 0,36, а на участке № 2 у кислотности 0,07. Ранг равняющийся 68 м и 109 м у исследуемых свойств, говорит о том, что на большем расстоянии точки прекращают коррелировать между собой. Для трактовки этих параметров в терминах географии почв используется эмпирический критерий, предложенный К.А. Камбарделлой с соавторами: если процентное отношение наггета к порогу, составляет менее 25 %, то пространственная корреляция оценивается как высокая, если от 25 до 75 % – как средняя, если же более 75 % – как низкая [3]. В нашем случае это значение составляет 26,9 и 48,6 %, что говорит о средней пространственной корреляции между точками пробоотбора. Более высокое значение ранга и пространственной корреляции у значений влажности по сравнению с кислотностью говорят о большей площади пространственной зависимости между данными, но о меньшей силе взаимосвязи внутри ее.

Визуальное представление о распределении кислотности на исследуемом участке дает приведенная ниже картограмма (рис. 2). Для наглядного обоснования необходимости использования геостатистического подхода, кроме полученной картограммы, представлены еще два варианта, созданные с помощью ординарного кригинга (параметры по умолчанию) разными модулями программы ArcGIS.

В первом случае картограмма построена с помощью инструментов модуля Geostatistical Analyst, но без каких-либо изменений в стандартных настройках, и как следствие, мы получаем сильно усредненные значения и картограмму с преимущественно одной группой кислотности (слабокислые рН 5,5–6,0) и небольшим фрагментом почв, близких к нейтральным (рН 6,0–6,5), что абсолютно не соответствует реальности. Вторая картограмма, построенная с помощью модуля Spatial Analyst, увеличивает дифференциацию территории по группам кислотности – появилась значительная область кислых почв (рН 5,0–5,5) на севере и отдельный массив в центре участка; на юго-востоке появились нейтральные почвы (рН 6,5–7,0) с небольшими вкраплениями слабощелочных (рН 7,0–7,5), однако данная картограмма также далека от действительности.

Максимально приближенное к реальности распределение кислотности отражает третья картограмма, построенная с соблюдением всех правил геостатистического анализа. На ней мы можем наблюдать, что на участке

представлены 8 групп кислотности почвы, от среднекислых (рН 4,5–5,0) на севере и центральной части участка, до щелочных в западной части участка (рН 7,5–8,0) и среднещелочных (рН 8,0–8,5) на юго-востоке исследуемой территории, а большая часть центральной части представлена кислыми (рН 5,0–5,5) почвами.

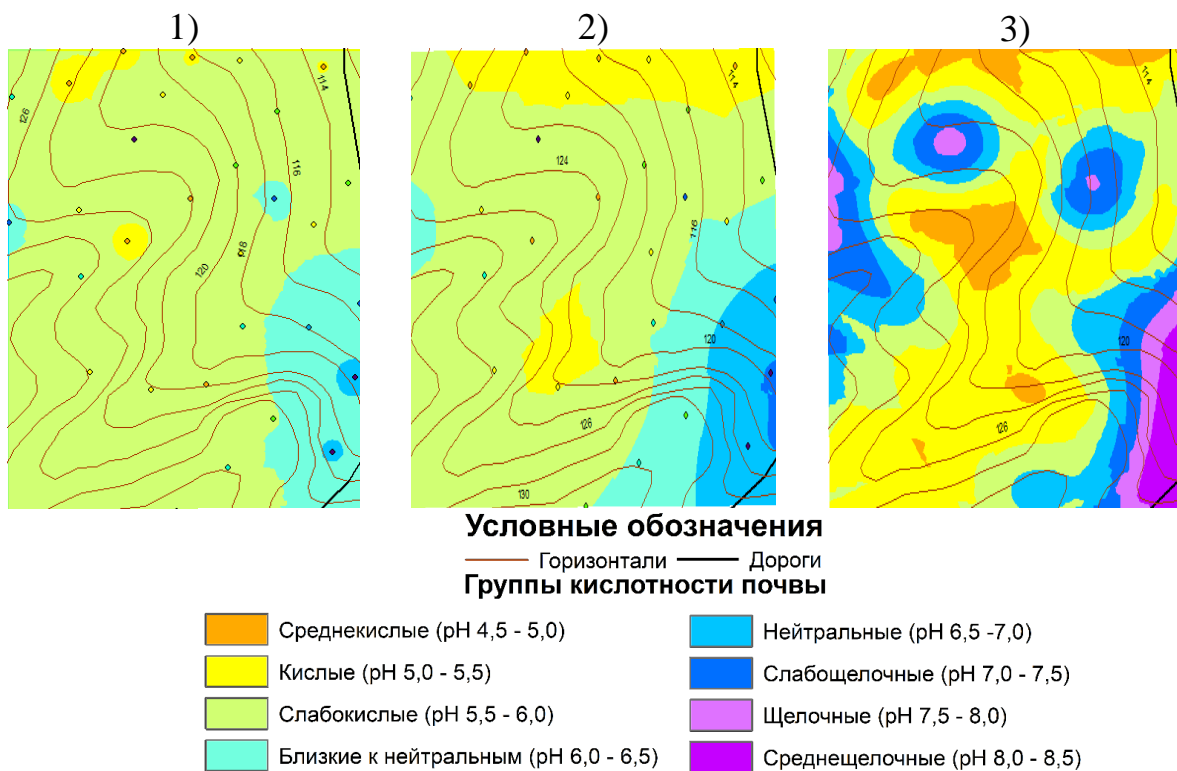
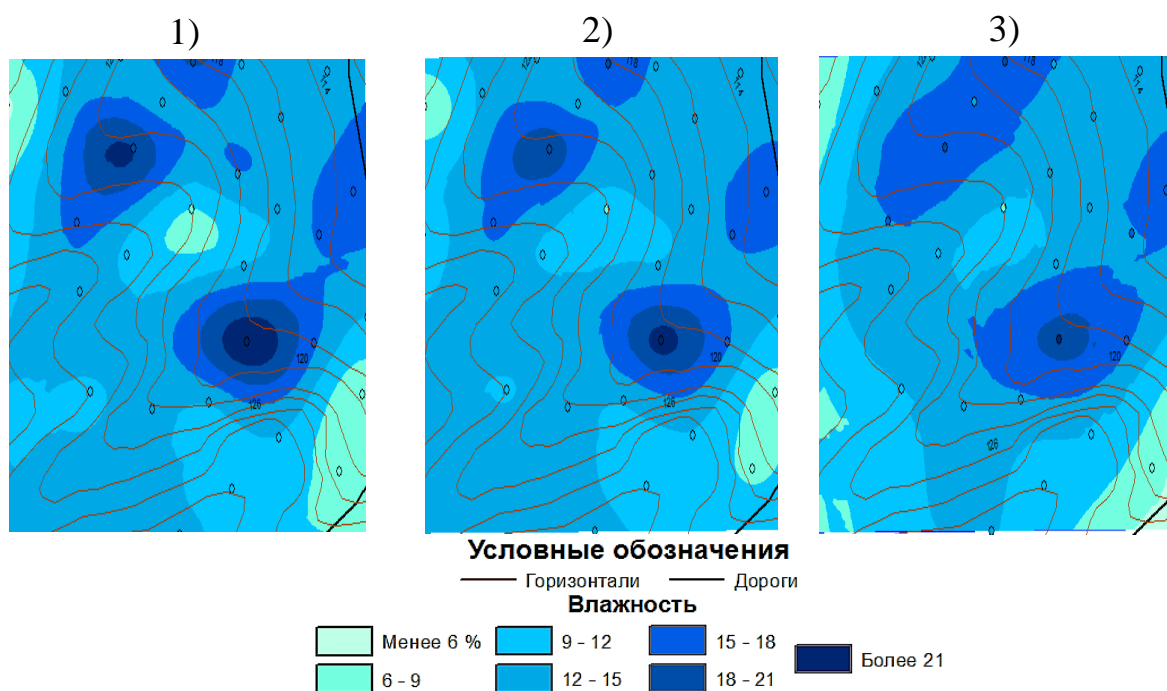


Рис. 2 – Картограммы кислотности почвы лесного участка (№1) построенные: 1) автоматическим кригингом (Geostatistical Analyst); 2) автоматическим кригингом (Spatial Analyst); 3) кригингом, при соблюдении геостатистической методики с использованием модели J-Бесселя.

Данное географическое распределение показателей кислотности носит неслучайный характер. В первую очередь наличие большего массива кислых и наличие среднекислых почв является типичным для данного участка, т.к. на участке преобладает подзолообразовательный процесс, который подкисляет почву. Щелочные почвы приурочены к ложбинам стока и реакция их среды обусловлена гипотетически карбонатной мореной, выходящей к поверхности в местах смыва верхних горизонтов почв.

Пространственное распределение влажности представлено на рис. 3. Как и для значений кислотности, кроме основной картограммы (3), были построены две другие с помощью автоматических вариантов ординарного кригинга. Полученные картограммы, в отличие от картограмм кислотности, не имеют столь разительных отличий друг от друга, но тем не менее эти различия есть.



*Рис. 3* – Картограммы влажности почвы лесного участка (№1) построенные: 1) автоматическим кригингом (Geostatistical Analyst); 2) автоматическим кригингом (Spatial Analyst); 3) кригингом, при соблюдении геостатистической методики с использованием модели J-Бесселя.

Так, у первых двух картограмм, в первую очередь, отсутствуют отображения выявленных трендов, и большая часть территории представляется почвой с влажностью 12–15 %, игнорируя повышение территории с востока на запад. Также важным отличием является выделение ареала вокруг точки пробоотбора со значением влажности более 21 %. Это связано в первую очередь с тем, что автоматический кригинг не учитывает статистическую оценку. Поскольку значение эксцесса превышает свое предельное значение, то распределение не аппроксимируется нормальным законом что должно быть учтено при построении картограмм.

На последней картограмме (3) (см. рис. 3) видно, что учитываются имеющиеся тренды – ареалы вытянуты с юго-запада на северо-восток, гипсометрические различия – территории с повышенной влажностью приурочены к ложбинам стока, а более сухие места – к повышениям. Незначительное отклонение от нормального распределения, представлено одной точкой с повышенным значением влажности.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что применение геостатистического подхода является неотъемлемой частью цифрового почвенного картографирования, а именно, процесса построения картограмм почвенных свойств и анализа их пространственного распределения. В хо-

де нашего исследования была продемонстрирована важность первичной статистической обработки полученных результатов.

При нормальном распределении и отсутствии сильной вариабельности значений, картограммы, полученные с помощью автоматических инструментов интерполяции, могут достаточно точно отражать реальную картину распределения кислотности и влажности, однако, все же уступают моделям, построенным при соблюдении описанной методики.

В свою очередь, при отсутствии нормального распределения данных (что встречается значительно чаще), автоматический кригинг теряет свое преимущество как наилучшего линейного несмещенного оценителя (НЛНО), которое выражается в минимальной дисперсии прогноза, и картограммы в таком случае существенно упрощают реальную картину распределения тех или иных свойств.

#### **Библиографические ссылки**

- 1.Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М. : Мысль, 1972.
2. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. М.: Наука, 2010.
3. Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B. [and etc.]. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils // Soil Science Society of America journal. 1994. Vol. 58. P. 1501-1511.