Изменение пространственной вариабельности почвенных свойств в результате антропогенного воздействия

В. А. Сидорова

Институт биологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

Введение

Пространственное распределение агрохимических свойств почв на угодье – это результат действия совокупности естественных процессов и практики землепользования. Существует два основных взгляда на последствия антропогенного воздействия на неоднородность почвенных свойств. Ряд авторов утверждают, что внесение удобрений, повышая средний уровень содержания питательных веществ, обычно приводит к возрастанию пространственной вариабельности этих показателей, причем в такой степени, что варьирование, обусловленное естественными факторами, составляет лишь малую долю антропогенного. Другие же исследователи, напротив, отмечают гомогенизацию почвенных свойств при сельскохозяйственной обработке.

И. Г. Важенин с соавторами (1961) отмечают, что на сельскохозяйственных угодьях варьирование свойств больше всего выражено в дерново-подзолистых почвах, несколько меньше в серых лесных и еще меньше в черноземных. Авторы связывают это с тем, что помимо убывания естественной вариабельности, уменьшается варьирование свойств в том же направлении, как и интенсивность применения удобрений. Высокое варьирование величин агрохимических показателей объясняется тем, что в хозяйствах в поля севооборотов включены участки с различной историей, а также тем, что часто на одном и том же поле выделяется не одна, а несколько культур, неодинаково обрабатываемых и удобряемых. Еще одна важная причина – неравномерное распределение органических и минеральных удобрений по полю: обычно больше вносится удобрений на участки поля вблизи дорог. Таким образом, решающим фактором, обусловившим неоднородность в содержании элементов питания в пахотном слое окультуренных почв, является не столько различие в типах почв, сколько характер производственной деятельности человека – господствовавшая система земледелия и система удобрения.

А. Пас-Гонсалес с соавторами (Paz-González, 2000) сравнивал различные почвенные свойства в верхних горизонтах Умбрисолей (Галиция, северо-запад Испании), находящихся под естественным растительным покровом (сосны, небольшие деревья, кустарники) и культивируемых в течение последних 100 лет. На почве в естественных условиях были отмечены высокие значения содержания органического вещества и емкости катионного обмена. Содержание азота осталось практически на том же уровне. Содержание обменного фосфора (по Ольсену) возросло в несколько раз, также возросло значение pH в водной вытяжке. Гранулометрический состав почв практически не изменился. Основными показателями, характеризующими степень однородности участков, считаются дисперсия и коэффициент вариации. На исследуемых участках значения этих параметров для химических свойств значительно изменились. Коэффициенты вариации содержания органического вещества, азота, фосфора по Ольсену, значений pH (H_2O), емкости катионного обмена и каменистости, были больше для участка в естественных условиях, что авторы объяснили выравниванием свойств на культивируемом участке в результате вспашки, а также однородным растительным покровом. Коэффициент вариации и дисперсия для гранулометрического состава практически не изменился. Также на участке в естественных условиях для содержания органического вещества, азота, емкости катионного обмена значение дисперсии было больше. Однако дисперсия содержания фосфора и значений pH была больше на культивируемом участке вследствие неравномерности внесения удобрений. В целом, авторы сделали вывод о гомогенизации верхнего почвенного горизонта в процессе культивации, особенно для таких свойств, как содержание органического вещества, азота и емкости катионного обмена. Следует отметить, что гомогенизация происходила в течение длительного времени: участок находился в сельскохозяйственном использовании в течение последних 100 лет.

А. А. Стрелкова с соавторами (1982) изучали пространственное варьирование агрохимических свойств торфяных низинных почв. Опыты проводились на трех участках Корзинского научного стационара (Карелия). Участок 1 – низинная торфяная почва. Известкование и внесение минеральных удобрений не производилось по-

сле осушения. Участок 2 – низинная торфяно-перегнойная почва, участок 3 – низинная торфяно-перегнойная сильноожелезненная почва. На последних двух участках после осушения постоянно вносились минеральные удобрения и проводилось периодическое известкование. Почвенные образцы (около 200 с каждого участка площадью 0,25 га) отбирались с двух глубин пахотного горизонта: 0-10 и 10-20 см. В образцах определялись pH (KCl) (потенциометрически), гидролитическая кислотность, сумма обменных оснований (по Каппену), подвижные формы фосфора и калия (по Кирсанову), аммиачный азот. Статистический и корреляционный анализ показал, что участки достоверно различались между собой по всем показателям, кроме содержания калия (по его содержанию они были довольно близки). Изменения, произошедшие в течение 20-летнего окультуривания, заключались в следующем: снизилась кислотность почв, возросло количество обменных оснований, подвижного фосфора, снизилось содержание аммиачного азота. Первый участок резко отличался по агрохимическим свойствам от второго и третьего. Различия между вторым и третьим участками были не столь высоки. В результате длительного окультуривания не наблюдалось снижения пространственной вариабельности агрохимических показателей. На участке с сильным ожелезнением наблюдалось увеличение коэффициента вариации по показателям кислотности и количеству подвижного фосфора.

Л. И. Брехова и Д. И. Щеглов (1997) изучали степень влияния антропогенного фактора на неоднородность гумусового профиля и характер варьирования содержания органического вещества в черноземах типичных (Воронежская область). Исследования велись на целине, пашне и орошаемой пашне. Анализ варьирования содержания гумуса в профиле целинных черноземов свидетельствовал о том, что данные почвы характеризуются невысокой изменчивостью признака (коэффициент вариации около 7%). Сельскохозяйственное использование черноземов привело к нарушению сложившегося динамического равновесия между факторами среды и почвой. Было отмечено возрастание варьирования содержания гумуса в пределах пахотной толщи, резкое увеличение коэффициента варьирования на границе перехода между пахотным и подпахотным слоем. Авторы полагают, что причина данного явления – уси-

ление миграционных процессов, обусловливающих перераспределение органического вещества. Наиболее интенсивные изменения происходили при вовлечении черноземов в орошаемое земледелие. В данных условиях пространственная неоднородность содержания гумуса возрастала относительно неорошаемой почвы.

И. В. Михеева (1997) анализировала закономерности изменения пространственной вариабельности свойств каштановой почвы (Прииртышская равнина) при орошении. На неорошаемой пахотной почве было отмечено уменьшение содержания обменного натрия, а также увеличение размаха значений и дисперсии для содержания суммы растворимых солей. В целом, возросла вариабельность содержания солей по сравнению с целиной, что связано с неоднородностью перераспределения поступающих в почву атмосферных осадков. Орошение привело к значительному повышению содержания обменного Na и суммы солей в почве, привносимых с поливной водой. В орошаемых почвах дисперсия содержания обменного Na была значительно выше, чем в неорошаемых. Наибольшие изменения дисперсии содержания обменного Na пришлись на первые годы орошения.

Коэффициент вариации и дисперсию можно использовать в качестве первого приближения для разделения участков на однородные и неоднородные в отношении того или иного свойства. Однако эти показатели не позволяют определить, за счет чего возникает неоднородность. Участки с пониженными и повышенными значениями свойств могут иметь в пространстве самые разные контуры, от малоразмерной пятнистости до крупных выделов. Для построения карт почвенных свойств могут быть использованы различные способы, среди которых наиболее точные карты позволяют строить различные геостатистические методы.

В. П. Самсонова с соавторами (1999) исследовали пространственную вариабельность агрохимически важных свойств (содержание гумуса по Тюрину, pH KCl, содержание подвижных фосфора и калия) пахотной дерново-подзолистой почвы (Чашниково, Московская область). Образцы отбирались по случайно-регулярной схеме на участке размером 200x200 м с глубины 0-10 см. Вариограммы показали, что эти свойства подчиняются разным законам распределения. Для фосфора и гумуса наиболее подходящей моде-

лью для вариограмм оказалась сферическая. Ранг составил 50 м для гумуса и 60 – для подвижного фосфора. Наггет-эффект был пренебрежимо мал по сравнению с порогом. Для подвижного калия и pH значения полудисперсии возрастали по мере увеличения расстояния между точками, то есть вариограммы были неограниченными.

М. Гейпенс с соавторами (Geypens et al., 1999) исследовали пространственную вариабельность ряда свойств, характеризующих продуктивность глеевых подзолов (север Бельгии): pH (KCl), содержание органического углерода, содержание фосфора (колориметрически), калия, магния и кальция (на атомном абсорбционном спектрофотометре). Образцы отбирались с глубины 0-30 см с шагом 20 м на участках площадью 1 га (пастбище и пашня). Геостатистический анализ выявил различные уровни пространственной зависимости для исследуемых параметров. Пространственная зависимость была наиболее выражена для значений pH, содержания магния и кальция (отношения наггета к порогу вариограмм менее 25%), умеренная (около 40%) – для органического углерода и фосфора, и умеренная ближе к слабой (более 60%) – для калия и натрия. Значения ранга также значительно отличались для различных параметров. Наибольшее значение было отмечено для pH и органического углерода (170 и 160 м соответственно). Для содержания питательных веществ значения ранга варьировали от 30 до 110 м и эти значения убывали в ряду: Ca > Mg > P > K > Na. Вариабельность свойств была выше на участке, используемом под пастбище.

Ф. Лопес–Гранадос с соавторами (López-Granados et al., 2002) исследовали пространственную вариабельность химических свойств (pH KCl, содержание органического вещества, содержание фосфора (колориметрически), обменного калия и форм азота (NH_4, NO_3, NO_2)) и гранулометрического состава на полях двух фермерских хозяйств в Андалусии (юг Испании). Почвы – Альфисоли и Вертиковые Ксерохрепты (Лювисоли и Вертиковые Камбисоли). Образцы отбирались с двух глубин (0-10 и 25-35 см) по регулярной сетке с шагом 35 м. Исследования показали, что пространственное распределение и зависимость почвенных свойств значительно отличаются друг от друга для различных свойств и глубин.

Также, несмотря на схожую практику землепользования в двух хозяйствах, различалось и пространственное распределение свойств на полях. Таким образом, на распределение свойств оказала влияние и вся история сельскохозяйственного использования земель. Пространственная зависимость (отношения наггета к порогу вариограммы) на обоих участках и глубинах была наиболее выражена для обменного калия и фосфора. Значения ранга варьировали от 21 м (pH) до 74,5 м (содержание ила) на одном участке и от 13,9 м (NO_2) до 104 м (фосфор) на другом.

А. Пас-Гонсалес с соавторами (Paz-González et al., 2000) сравнивали вариограммы для различных свойств умбрикового (гумусового) горизонта на участке под естественной растительностью и культивируемом участке. Вариограммы для содержания органического вещества и емкости катионного обмена на культивируемом участке показали меньшее значение наггета, чем под естественной растительностью. Таким образом, при сельскохозяйственном использовании сглаживалась неоднородность свойств на небольших расстояниях.

П. Гувартс (Goovaerts, 1998) сравнивал вариограммы, построенные для значений pH в верхнем слое почв под лесом и под пастбищем (Бельгия). Образцы отбирались вдоль трансекты длиной 100 м с шагом 1 м и на квадратном участке площадью 100x100 м с шагом 10 м. Пороговые значения вариограмм для обеих трансект практически совпадали, то есть в целом, варьирование значений pH вдоль трансекты под лесом и пастбищем было сходно. Однако для вариогрммы кислотности в лесу было отмечено большее значение наггета и меньшее – ранга. Таким образом, под лесом преобладало варьирование на коротких расстояниях (несколько метров). Автор связывает это с локальным разнообразием растительности в лесу по сравнению с однообразным травяным покровом на пастбище. Такие же закономерности сохранились и при двумерном исследовании (на квадратном участке).

Таким образом, изменение варьирования различных показателей при окультуривании земель происходит сложным образом. Некоторые параметры уменьшают варьирование за счёт гомогенизации участка, например, ёмкость катионного обмена, реже кислотность, содержание органического углерода. Другие параметры, на-

пример, содержание азота, фосфора и калия, в основном зависят от внесения удобрений, и их варьирование увеличивается при окультуривании земель. В ряде случаев кислотность и содержание органического углерода также могут увеличивать варьирование при окультуривании, если вносились органические или известковые удобрения, либо резко дифференцировались условия минерализации органического вещества. В ряде случаев общая вариация признаков, например, значений pH, не изменяется при освоении, однако характерные расстояния меняются: под лесом кислотность определяется мозаичной структурой лесных сообществ на коротких расстояниях, а на освоенных участках – преимущественно известкованием. Следует подчеркнуть, что закономерности изменений вариабельности различных свойств почв при окультуривании имеют региональный характер, и потому их следует выявлять для каждого природного региона отдельно.

Цель данной работы – сравнить пространственное варьирование почвенных свойств в естественных условиях (лес) и в условиях сельскохозяйственного использования в подзоне средней тайги Восточной Фенноскандии.

Объекты и методы

Исследования проводились в Южной Карелии, которая относится в геологическом и ландшафтном плане к Восточной Фенноскандии. Вся территория характеризуется близким залеганием докембрийских магматических и метаморфических пород, перекрытых четвертичным чехлом осадочных пород ледникового и водноледникового происхождения. Рельеф в основном слабоволнистый, преобладают ледниковые формы рельефа: сельги, друмлины, камы, озы и зандры. Климат Южной Карелии прохладный и влажный: годовое количество осадков около 650 мм, средняя температура июля около 16°C, средняя температура января около -11°C. Преобладающие естественные ландшафты – еловые, смешанные елово-берёзовые и сосновые леса средней тайги. В настоящее время естественные экосистемы в значительной степени нарушены и замещены вторичными мелколиственными лесами.

Исследования на антропогенно нарушенном участке проводились на бывшем картофельном поле на территории стационара Ин-

ститута биологии КарНЦ РАН в пос. Гомсельга (Кондопожский район, респ. Карелия). Размеры участка – 85х50 м^2. Почва – агроподзол иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках.

В качестве контрольного (естественного) участка использовался участок под лесом в районе пос. Каскеснаволок. Тип прибрежного лесного насаждения представлен большей частью березняком разнотравным *Betuletum mixto-herbosum* с небольшой долей осины. Почва – подзол глееватый песчаный на озёрно-ледниковых песках.

Образцы отбирались с глубины 0-10 см непосредственно с поверхности (участок на поле) или под горизонтом опада (участок под лесом) по регулярной схеме с предпочтительным расположением точек с шагом 5 м. Было взято 150 образцов с участка под полем и 100 — с участка под лесом. Разделение выборки по типам горизонтов (A, Ah, H) не производилось. В почвенных образцах определялись значения pH_{KCl} и содержание органического углерода (по Тюрину). Для всех данных были рассчитаны основные статистические характеристики и проведен регрессионный анализ (Дмитриев, 1995).

Для определения пространственной вариабельности почвенных свойств использовался метод вариографии, то есть построение экспериментального графика зависимости полудисперсии свойств от расстояния между точками опробования и подбор моделей, описывающих пространственную структуру исследуемых свойств (Демьянов и др., 1999; Джонгман и др., 1999; Кузякова и др., 2001; Burgess, Webster, 1980). Полудисперсия характеризует степень различия данных в зависимости от расстояний между ними. Полудисперсия рассчитывалась по формуле:

$$\gamma(h) = 1/(2\ N\ (h))\ \Sigma\ [z(x_i) - z(x_i + h)]2 \qquad [1]$$

где $\gamma(h)$ — экспериментальное значение полудисперсии, $z(x_i)$ и $z(x_i + h)$ – результаты измерений в точках x_i и $x_i + h$, а $N(h)$ – количество пар точек, удаленных друг от друга на расстояние h.

На основании полученных данных строились вариограммы – графики зависимости полудисперсии $\gamma(h)$ от величины смещения h. Вариограмма характеризует зависимость среднего квадрата разности значений изучаемого показателя от расстояния между точками опробования, в которых эти значения измерены, то есть рас-

крывает определенную пространственную структуру распределения признака в пространственных координатах.

Основные параметры моделей вариограмм — наггет, порог и ранг. Наггет — это значение полудисперсии при шаге равном 0. Порог — постоянное значение, к которому стремится полудесперсия с возрастанием шага. Ранг — расстояние, на котором значения переменной становятся независимыми от дистанции.

Для определения различных классов пространственной зависимости переменных используется отношение наггета к порогу. Если это отношение ≤25%, переменная считается сильно пространственно зависимой, если отношение между 25 и 75% – пространственная зависимость рассматривается как средняя, и если >75 % – слабая пространственная зависимость.

Расчет экспериментальных вариограмм является первым шагом анализа пространственного варьирования переменных. На следующем этапе проводят подгон параметров теоретических кривых под экспериментальную вариограмму. Несколько функций (сферическая, экспоненциальная, Гауссова, линейная) использовались для подбора модели вариограммы по полученным значения полудисперсии. Для подгона параметров использовался метод максимального правдоподобия (McBratney, Webster, 1986)

Для определения, является ли функция вариограммы зависимой от расположения точек опробования или нет, рассчитывались изотропные (по всем направлениям) вариограммы и анизотропные (по заданному направлению) вариограммы.

Для построения карт почвенных свойств могут быть использованы различные способы. Одним из таких является кригинг, основанный на теории регионализированных переменных. Принцип кригинга состоит в определении весов значений переменной в окрестных точках для оценки значения переменной в искомой точке или области. При этом вес каждой точки определяется по вариограмме (Матерон, 1968; Burgess, Webster, 1980).

Для расчета и построения вариограмм использовался пакет программ Variowin (Pennatier, 1996), а для построения карт пространственного распределения по предсказанным значениям – SURFER Version 6.02 software (Copyright © 1993-1996, Golden Software, Inc.).

Результаты

Данные статистической обработки полученных результатов приведены в Табл. 1. Разброс данных достаточно велик, причем как внутри одного участка, так и между участками (Табл. 1, Рис. 1). Сравнительный анализ двух выборок (Благовещенский и др., 1987) позволил выявить достоверные отличия содержания органического углерода и кислотности в почве двух участков. Так, pH в солевой вытяжке в почве на поле было в среднем достоверно ($P_{0,95}$) на 1,5 выше, чем в лесу, среднее содержание органического углерода достоверно ниже на 1 % ($P_{0,95}$). Изменение дисперсии не значимо. Изменение коэффициента вариации связано главным образом с изменением среднего значения (Рис. 1, Табл. 1). Для значений pH отмечен низкий коэффициент вариации, таким образом, неоднородность участков по этому свойству не очень высока. На основании результатов сравнения медианы и среднего значения, а также коэффициента асимметрии и эксцесса, можно сделать вывод, что распределение свойств на обоих участках нормальное или близкое к нормальному.

Таблица 1. **Статистические характеристики свойств поверхностных (0–10 см) горизонтов почв**

Парамерты	pH KCl		C, %	
	лес	поле	лес	поле
размах значений	1,66	1,53	5,88	5,61
минимум	3,64	5,25	1,20	0,06
нижний квартиль	4,38	5,95	2,82	1,90
медиана	4,64	6,16	3,51	2,85
верхний квартиль	4,82	6,33	6,41	3,44
максимум	5,30	6,78	7,08	5,67
среднее значение	4,60	6,12	3,61	2,65
дисперсия	0,10	0,09	1,20	1,55
стандартное отклонение	0,32	0,30	1,10	1,25
коэффициент вариации	7,01	4,91	30,35	47,02
эксцесс	0,11	-0,17	0,23	-0,40
асимметрия	-0,38	-0,39	0,39	-0,29

Для pH_{KCl} и органического углерода на обоих участках вариограммы достаточно хорошо описывались сферической моделью вида (McBratney, Webster, 1986):

$$\gamma(h) = C0 + C\left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right),\ 0 < h \le a \qquad [2]$$

$$= C0 + C,\ a<h$$

Параметры моделей вариограмм представлены в Табл. 2.

Таблица 2. **Дисперсия и параметры моделей вариограмм**

Свойства	участок	дисперсия	модель	наггет, C_0	порог, равный (C_0+C)	ранг (a), м	остаточная дисперсия $C_0/(C_0+C)$, %
pH (KCl)	лес	0,10	сферическая	0,058	0,096	16,38	60,42
	поле	0,09	сферическая	0,041	0,095	30	43,16
C	лес	1,20	сферическая	0,60	1,24	12,48	48,39
	поле	1,55	сферическая	1,23	1,54	10,46	79,87

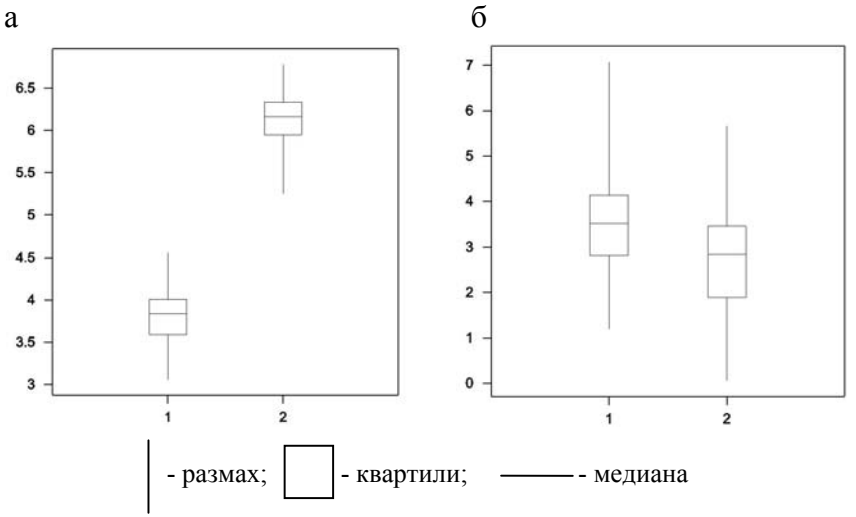


Рис. 1. **Статистические параметры распределения значений pH (KCl) (а) и содержания углерода (б) для почв участков под лесом (1) и под пашней (2)**

По отношению наггета к пороговому значению, pH (KCl) на обоих участках и содержание органического углерода на участке под лесом – умеренно пространственно зависимы, содержание органического углерода на поле – слабо пространственно зависимо.

Для pH (KCl), вариограммы для обоих участков имеют одинаковое значение порога, однако значение наггета меньше на участке под полем (Табл. 2, Рис. 2а). Соответственно меньше и значение остаточной дисперсии. Это означает, что на участке под лесом, хотя ранг и больше 15 м, основное варьирование кислотности происходит на расстояниях до 5 м. Таким образом, на участке под лесом преобладает варьирование на коротких расстояниях. Для участка под полем, вариограмма для pH носит скорее гнездовой характер: на расстоянии больше 60 м значения полудисперсии начинают расти. Таким образом, можно выделить три уровня пространственной неоднородности на исследуемом участке. Первый – это варьирование на расстояниях до 5 м. Эта составляющая отражает существование «выбросов» значений в отдельных точках, то есть локальные максимумы или минимумы свойств. Второй уровень – это варьирование на расстояниях до 30 м и третий – варьирование на расстояниях свыше 60 м.

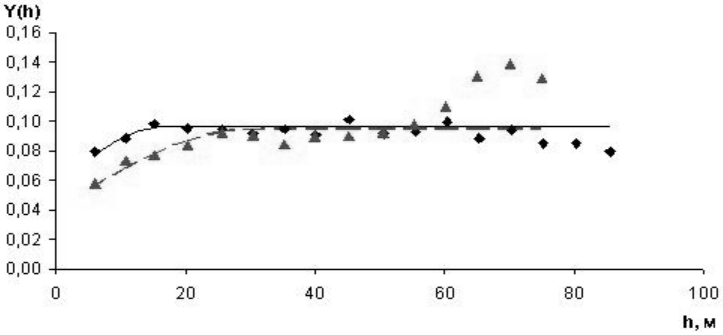
У вариограмм для содержания органического углерода практически совпадают значения ранга (10,5 и 12,5 м), но значения наггета и остаточной дисперсии больше для участка под пашней (Табл. 2, Рис. 2б). Таким образом, у органического углерода на поле преобладает варьирование на коротких расстояниях. Это значит, что уровень неоднородности имеет размеры, равные или меньшие, чем 5 м (шаг опробования).

Анизотропные вариограммы не выявили разницы в пространственном распределении по направлениям для pH (на обоих участках) и содержания органического углерода на участке под лесом.

Анализ по направлениям для содержания органического углерода на поле показал, что вариограммы по направлениям вдоль и поперек рядов значительно отличаются друг от друга. Вдоль рядов сохраняется практически 100% наггет-эффект. В перпендикулярном направлении выявлена периодическая составляющая с периодом 30 м (Рис. 3).

Эти результаты подтверждаются картограммой, построенной с помощью кригинга, для содержания органического углерода (Рис. 4). Здесь прослеживается чередование полос с высоким (более 3 %) и низким (менее 2 %) содержанием органического углерода. Очевидно, что такое распределение имеет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

а



б

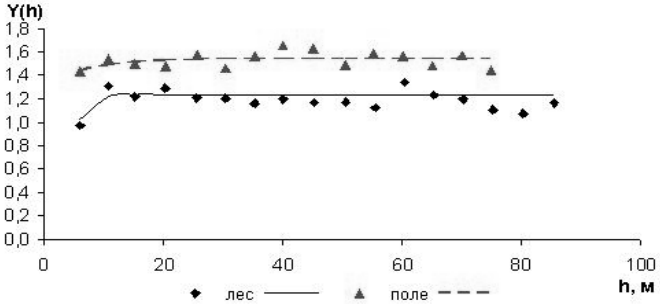


Рис. 2. **Вариограммы для почвенных свойств (точки – экспериментальные данные, линии – модель): а – pH, б – содержание органического углерода**

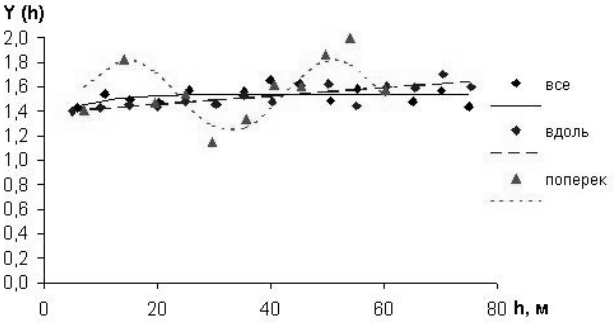


Рис. 3. **Анизотропные вариограммы содержания органического углерода в пахотном слое (точки – экспериментальные данные, линии – модель)**

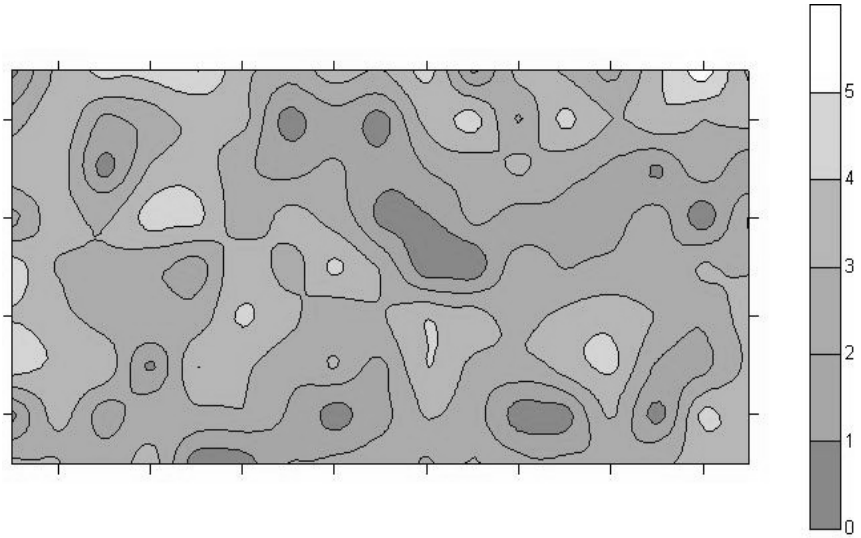


Рис. 4. **Картограмма содержания органического углерода в пахотном горизонте**

Обсуждение

Нами была исследована пространственная вариабельность участков, расположенных в естественных условиях (лес) и подвергшихся антропогенному воздействию (поле). Результаты анализов были обработаны с помощью классических статистических, а также геостатистических методов.

Почвы участка под лесом характеризуются средним уровнем вариабельности кислотности и содержания органического углерода. На исследованном участке значения pH_{KCl} варьировали от 3,64 до 5,30, среднее значение – 4,60. Содержание углерода варьирует от 1,20 до 7,08 % (среднее – 3,61%). Коэффициент вариации для свойств составляет от 7 до 30%. Таким образом, в первом приближении исследованный участок можно принять выровненным по значениям pH_{KCl}, органического углерода. Расстояния, на котором образцы оставались пространственно скоррелированы (ранг), находились в пределах 12-17 м. Пространственная корреляция оценивается как средняя.

Полученные результаты соответствуют данным других исследователей в ненарушенных лесах (Bruckner et al., 1999; Goovaerts, 1998; Liski, 1995; Qian, Klinka, 1995). Основные свойства лесных почв обычно показывают пространственную корреляцию на расстояниях в несколько метров (от 5 до 20 м). Уровень корреляции средний (30-70%). По мнению авторов, такой ранг пространственной зависимости отражает влияние деревьев (расположение, расстояние между деревьями, диаметр кроны) на почвенные свойства.

В результате сельскохозяйственного использования территории меняются почвенные свойства, а также их пространственное распределение. Значение pH в солевой вытяжке в почве на поле возрастает на 1,5, содержание органического углерода в среднем уменьшается на 1%. Похожие закономерности (снижение содержания органического углерода и уровня кислотности при антропогенном воздействии) отмечают многие исследователи (Самсонова и др., 1999; Paz-González et al., 2000). Они связывают подобные изменения с тем, что на культивируемых почвах происходит перемешивание с нижележащими слоями при обработке почв, а также с активным использованием удобрений, содержащих известь.

Геостатистический анализ показал умеренную или умеренную ближе к слабой пространственную зависимость свойств на обоих участках.

Для pH (KCl), вариограммы для обоих участков имеют одинаковое значение порога, однако значение наггета меньше на участке под полем. Соответственно меньше и значение остаточной дисперсии. Значение ранга, напротив, больше практически в два раза на участке под полем. То есть на участке под лесом преобладает варьирование на более коротких расстояниях, причем основная часть этого варьирования приходится на расстояния меньше, чем шаг опробования (в данном случае 5 м). Можно предположить, что такое распределение отражает локальную неоднородность растительного покрова в лесу по сравнению с относительной однородностью растительности на сельскохозяйственных полях.

Распределение органического углерода в пахотном слое отличается анизотропией (зависимостью от направления): равномерное вдоль рядов и периодическое – поперек. Такое распределение име-

ет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

Выводы

В результате сельскохозяйственного использования меняются почвенные свойства, а также их пространственное распределение. Значение pH в солевой вытяжке в почве на поле возрастает на 1,5, содержание органического углерода в среднем уменьшается на 1%. Изменение дисперсии не значимо. В целом, оба участка однородны по кислотности и неоднородны по содержанию органического углерода.

При сельскохозяйственном использовании изменяется и распределение значений pH и содержания углерода в почве. Варьирование свойств на участке под лесом происходит главным образом на коротких расстояниях. В результате обработки происходит сглаживание этого варьирования для значений pH: возрастает значение ранга и уменьшается значение наггета.

Распределение органического углерода в пахотном слое отличается анизотропией (зависимостью от направления): равномерное вдоль рядов и периодическое – поперек. Такое распределение имеет антропогенное происхождение и связано с неравномерностью внесения органических удобрений.

Литература

Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. М.: Наука, 1987. 96 с.

Брехова Л.И., Щеглов Д.И. Воздействие антропогенного фактора на пространственную изменчивость содержания гумуса в профиле черноземов центральной России // Тез. докл. междунар. конф. "Проблемы антропогенного почвообразования". М., 1997. С. 67-70.

Важенин И.Г., Музычкин Е.Т., Прохорова З.А., Алешина Т.Н. О методике составления крупномасштабных почвенно-агрохимических картограмм в целях применения удобрений // Почвоведение. 1961, № 4. С. 1-13.

Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Чернов С.Ю. Вариография: исследование и моделирование пространственных корреляционных структур // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. Выпуск № 11. М.: ВИНИТИ, 1999. С. 33-54.

Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. Пер. с англ. под ред. А.Н. Гельфана, Н.М. Новиковой, М.Б. Шадриной. М.: РАСХН, 1999. 306с.

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 318 с.

Кузякова И.Ф., Романенков В.А., Кузяков Я.В. Метод геостатистики в почвенно-агрохимических исследованиях // Почвоведение. 2001, № 9. С. 1132-1139.

Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 408 с.

Михеева И.В. Изменение пространственной вариабельности свойств почвы при антропогенном воздействии // Почвоведение. 1997, № 1. С. 102-104.

Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриев Е.А. Структуры пространственной вариабельности агрохимических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1999, № 11. С. 1359-1366.

Стрелкова А.А., Марченкова Н.Е., Перевозчикова Е.М., Кябелева Г.К., Амозова М.П., Павлова Н.Н. Пространственное варьирование агрохимических свойств пахотных торфяных низинных почв // Почвы Карелии и вопросы их мелиорации. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1982. С. 49-62.

Bruckner A., Kandeler E., Kampichler C. Plot-scale spatial patterns of soil water content, pH, substrate-induced respiration and N mineralisation in a temperate coniferous forest // Geoderma, 1999, vol. 93, p. 207-223.

Burgess T.M., Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soils properties: I. The semivariogram and punctual kriging // J. Soil Sci., 1980, vol. 31, p. 315-331.

Geypens M., Vanongeval L., Vogels N., Meykens J. Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a gleyic podzol of Belgium // Precision Agriculture, 1999, vol. 1, p. 319-326.

Goovaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties // Biol. Fertil. Soil, 1998, vol. 27, p. 315-334.

Liski J. Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand – effect of trees and implications for sampling // Silva Fennica, 1995, vol. 29, p. 255-266.

López-Granados F., Jurado-Expósito M., Atenciano S., García-Ferrer A., Sánchez de la Orden M., García-Torres L. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain // Plant Soil, 2002, vol. 246, p. 97–105.

McBratney A., Webster R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates // J. Soil Sci., 1986, vol. 37, p. 617-639.

Pannatier Y. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer-Verlag, New York, NY. 1996.
Paz-González A., Vieira S. R., Taboada Castro M. T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon // Geoderma, 2000, vol. 97, p. 273-292.
Qian H., Klinka K. Spatial variability of humus forms in some coastal forest ecosystems of British Columbia // Annales des Sciences Forestieres, 1995, vol. 52, p. 653-666.
SURFER Version 6.02 software. Copyright © 1993-1996. Golden Software, Inc.