

Пространственная вариабельность агрегатного состава техноземов

А.А. Демидов, кандидат сельскохозяйственных наук

Ю.И. Грицан, доктор биологических наук

А.В. Жуков, кандидат биологических наук

Встановлено, що типи техноземів мають специфічну агрегатну структуру, що підтверджується статистично. Показана ефективність геостатистичних підходів для вивчення закономірностей просторової мінливості агрегатного складу техноземів на експериментальній ділянці рекультивації земель. Агрегатні фракції характеризуються специфічними особливостями свого просторового розподілу в межах дослідженої території.

В ходе рекультивации земель целенаправленно создаются почвоподобные тела, называемые иногда почвами [4]. По классификации, предложенной Л.В. Етеревской и др. [5], все почвы, сформированные в результате действия антропогенного фактора, объединяются в класс антропогенных почв. В этом классе выделяется ряд рекультивированных, или техногенных почв. В ряду “техногенные почвы” выделяются генетические типы по строению техногенного профиля: педоземы и литоземы, дерново-литогенные. Профиль педоземов состоит из двух горизонтов – верхнего насыпного гумусированного слоя почвы и нижнего, который состоит из переотложенных пород или отвальной смеси горных пород. Литоземы с поверхности сложены горными породами, их профиль состоит из одного горизонта. Дерново-литогенные техноземы формируются на литоземах и по мере развития под воздействием биологического фактора почвообразования они приобретают зональные особенности. Профиль этих почв представлен двумя горизонтами: верхним гумусово-аккумулятивным маломощным, отражающим развитие процессов почвообразования на начальной стадии, и нижним, сформированными горными породами [5].

На территориях, измененных добычей полезных ископаемых, встречаются “не-почвы”, к которым относятся материалы, образовавшиеся в результате хозяйственной или промышленной деятельности (золы, шлаки, шламы). В состав почвенного покрова техногенно измененных территорий входят естественные почвы, молодые почвы на техногенных грунтах (эмбриоземы), природно-техногенные почвы (хемопочвы, технопочвы), почвоподобные тела и почвы (хемоземы и техноземы), природные и неприродные грунты [4].

Традиционная система земледелия ориентирована на однородное восприятие поля, игнорируя естественным образом присущую изменчивость почвенных условий между и в пределах поля. Без применения системы

глобального позиционирования (GPS) и оборудования для точного измерения урожайности было трудно установить и задокументировать изменчивость в пространстве урожайности сельхозкультур и почвенных свойств. В последние годы получены убедительные свидетельства того, что пространственная изменчивость в пределах поля очень велика и достигает уровня 2–4 раз или более для урожайности [8, 11, 14] и более чем порядка величин для почвенных свойств [9, 10].

Пространственная вариабельность урожайности является результатом комплексного взаимодействия биологических (вредители, дождевые черви, микроорганизмы), эдафических (соленость, органическое вещество, питательные вещества, почвенная структура), антропогенных (уплотнение почвы сельхозорудиями), топографических (наклон, высота рельефа) и климатических (относительная влажность, температура, осадки) факторов.

Фундаментальным компонентом оценки *качества почвы* на масштабном уровне поля является установление пространственного распределения почвенных свойств, которые влияют на важные цели управления (максимизация сельскохозяйственной продуктивности, минимизации воздействия на окружающую среду, максимизацию повторного использования отходов) и производные функции (биоразнообразие, фильтрация и буферные свойства почвы, круговорот питательных веществ, физическая стабильность, резистентность и эластичность) [10]. Недостаточно сделать отдельное измерение в пределах поля для характеристики почвенного качества. Напротив, необходимое число измерений должно быть проведено в *особых точках* для репрезентативной характеристики пространственного распределения существующих почвенных кондиций, которые влияют на сельскохозяйственную деятельность, обусловленную почвенными свойствами [9].

Таким образом, оценка качества почвы требует количественных данных по каждому индикаторному свойству, связанному с почвенным качеством, и информации о пространственной вариабельности этих индикаторных свойств [14].

Целью настоящей работы является изучение пространственной изменчивости агрегатного состава техноземов как важнейшего индикатора качества почв, и интенсивности процесса рекультивации [2, 3, 7].

Материалы и методы. Работы проведены на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации был создан в 1968–1970 гг.

Агрегатный состав техноземов был установлен для образцов, отобранных с глубины 0–10 см. Отбор проб производился по регулярной сетке с интервалом 15 м. Сетка состояла из восьми трансект по 20 проб каждая. Таким образом, данные об агрегатном составе были собраны для 160 проб. Определение агрегатного состава производилось с помощью сухого просеивания [1]. Данные собраны в мае 2009 г.

В пределах экспериментального участка представлены четыре основных типа техноземов: серо-зеленые глины, лесы, красно-бурые глины и насыпной слой чернозема. Наряду с типовыми модельными пробными площадками в пределах экспериментального участка представлено большое количество переходных вариантов. На основании изучения совокупности свойств техноземов была предложена карта почвенных ареалов в пределах изучаемой территории [6].

Результаты и обсуждение. При анализе агрегатного состава почв мы исходим из нуль-гипотезы – типы техноземов, представленные в пределах экспериментального участка, не различаются по количественному соотношению различных размерных групп почвенных агрегатов. Обратное свидетельствует о специфике процессов образования агрегатной структуры в различных типах.

Анализ полученных данных показывает, что преобладающей фракцией являются агрегаты с размерами 1–3 мм (29,69 %) и более 10 мм (25,95 %). Несколько уступают по относительной доле фракции размером 3–5 мм, прочие фракции характеризуются участием в агрегатной структуре на уровне 3,83–7,42 % (табл. 1).

1. Статистические характеристики агрегатного состава техноземов

Фракция	Среднее	–95 %	+95 %
<i>В целом по участку (N = 160)</i>			
> 10 мм	25,95	24,53	27,37
7–10 мм	7,42	7,16	7,68
5–7 мм	6,73	6,48	6,98
3–5 мм	12,78	12,23	13,34
1–3 мм	29,69	29,02	30,36
0,5–1 мм	6,73	6,42	7,03
0,25–1 мм	6,88	6,45	7,30
< 0,25 мм	3,83	3,56	4,11
<i>Насыпной слой чернозема (N = 18)</i>			
> 10 мм	26,30	22,04	30,55
7–10 мм	6,42	5,73	7,11
5–7 мм	5,21	4,70	5,71
3–5 мм	9,11	7,64	10,58
1–3 мм	30,31	27,87	32,74
0,5–1 мм	8,47	7,42	9,52
0,25–1 мм	9,98	8,63	11,33
< 0,25 мм	4,21	3,44	4,97
<i>Красно-бурые глины (N = 31)</i>			
> 10 мм	33,42	30,59	36,24
7–10 мм	6,32	5,82	6,82
5–7 мм	5,80	5,33	6,26
3–5 мм	9,97	9,08	10,85

1–3 мм	27,24	26,02	28,45
0,5–1 мм	6,95	6,37	7,53
0,25–1 мм	7,04	6,17	7,91
< 0,25 мм	3,27	2,71	3,83
<i>Лессы (N = 46)</i>			
> 10 мм	22,77	20,63	24,92
7–10 мм	7,84	7,40	8,28
5–7 мм	7,26	6,81	7,72
3–5 мм	14,34	13,62	15,06
1–3 мм	29,82	28,69	30,96
0,5–1 мм	6,50	5,92	7,07
0,25–1 мм	6,65	5,91	7,38
< 0,25 мм	4,82	4,38	5,26
<i>Лессы с содовым засолением (N = 27)</i>			
> 10 мм	21,08	17,08	25,07
7–10 мм	8,24	7,50	8,98
5–7 мм	7,60	6,99	8,21
3–5 мм	15,76	14,27	17,24
1–3 мм	30,77	29,10	32,43
0,5–1 мм	6,20	5,55	6,84
0,25–1 мм	5,82	4,91	6,74
< 0,25 мм	4,54	3,80	5,27
<i>Серо-зеленые глины (N = 38)</i>			
> 10 мм	26,99	24,46	29,53
7–10 мм	7,70	7,26	8,14
5–7 мм	6,93	6,48	7,39
3–5 мм	12,82	12,00	13,64
1–3 мм	30,46	28,90	32,03
0,5–1 мм	6,37	5,69	7,06
0,25–1 мм	6,30	5,45	7,15
< 0,25 мм	2,42	2,00	2,84

Полученные данные свидетельствуют также о том, что между типами техноземов существуют различия в их агрегатной структуре. В то же время необходимо отметить значительный уровень изменчивости показателей агрегатной структуры в пределах отдельных типов техноземов. Для исследования возможности дифференциации типов техноземов по их агрегатной структуре и выяснения вопроса о достоверности этих различий был проведен дискриминантный анализ. Агрегатная структура выражается в процентах и в сумме составляет 100 %, поэтому показатель по каждой фракции нельзя считать независимым. Поэтому классический дискриминантный анализ для такого типа данных неприменим и мы использовали общую модель факторного анализа (Statistica 7.0) (табл. 2).

Первые две дискриминантные функции несут основные различительные (дискриминантные) способности агрегатной структуры для дифференциации типов техноземов. Первая дискриминантная функция отражает противоположную динамику изменчивости агрегатных фракций более 10 мм с одной стороны (коэффициент корреляции с функцией 1 этого показателя – 0,37) и фракция 3–10 мм – с другой (коэффициенты 0,65, 0,43 и 0,35 соответственно для фракций 3–5, 5–7 и 7–10 мм). Вторая дискриминантная функция описывает противоположную изменчивость доли в агрегатной структуре мелких фракций (менее 0,25 мм – 1 мм) с одной стороны и крупных (3–10 мм, но не более 10 мм) – с другой.

2. Коэффициенты корреляции дискриминантных функций и показателей агрегатной структуры (сигма-ограниченная параметризация)

Фракция	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
> 10 мм	–0,37	0,06	0,82	–0,02
7–10 мм	0,35	0,36	–0,33	–0,30
5–7 мм	0,43	0,42	0,05	–0,58
3–5 мм	0,65	0,40	–0,09	0,16
1–3 мм	0,12	0,16	–0,76	0,25
0,5–1 мм	–0,19	–0,40	–0,45	0,29
0,25–1 мм	–0,24	–0,54	–0,71	–0,23
< 0,25 мм	0,33	–0,88	–0,16	–0,03
Статистики				
Собственное число	1,81	0,36	0,05	0,01
Каноническая R	0,80	0,51	0,22	0,08
Лямбда Уилкса	0,25	0,70	0,95	0,99
Хи-квадрат	213,87	55,56	8,53	1,05
Степени свободы	28,00	18,00	10,00	4,00
p-уровень	0,00	0,00	0,58	0,90

Центроиды определяются как наиболее типичные точки для техноземов в дискриминантном пространстве, а ареалы формируются как полигоны Вороного, т.е. в пределах каждого полигона любая точка наиболее близка к конкретному центроиду (рис. 1).

Близость точки, соответствующей конкретному образцу технозема, к центроиду класса (тип технозема) является критерием диагностики данного образца как принадлежащего к соответствующему типу технозема.

Дискриминантная функция 1 разделяет лесы с одной стороны, а красно-бурые глины и насыпной слой чернозема – с другой стороны. Серо-зеленые глины занимают промежуточное положение по этой функции. Таким образом, можно утверждать, что лесы по агрегатной структуре характеризуются преобладанием фракций 3–5 и 5–7 мм (и отчасти менее 0,25 и 7–10 мм) в сравнении с насыпным слоем чернозема и красно-бурыми

глинами, для которых характерно преобладание крупных агрегатных отдельностей (более 10 мм) и мелких агрегатов 0,25–1 мм.

Дискриминантная функция 2 дифференцирует серо-зеленые глины и насыпной слой чернозема, красно-бурые глины и леса занимают промежуточное положение. Следовательно, характерной особенностью серо-зеленых глин является преобладание агрегатных фракций 3–10 мм, а особенностью насыпного слоя чернозема – повышенное содержание мелких фракций менее 0,25 – 1 мм.

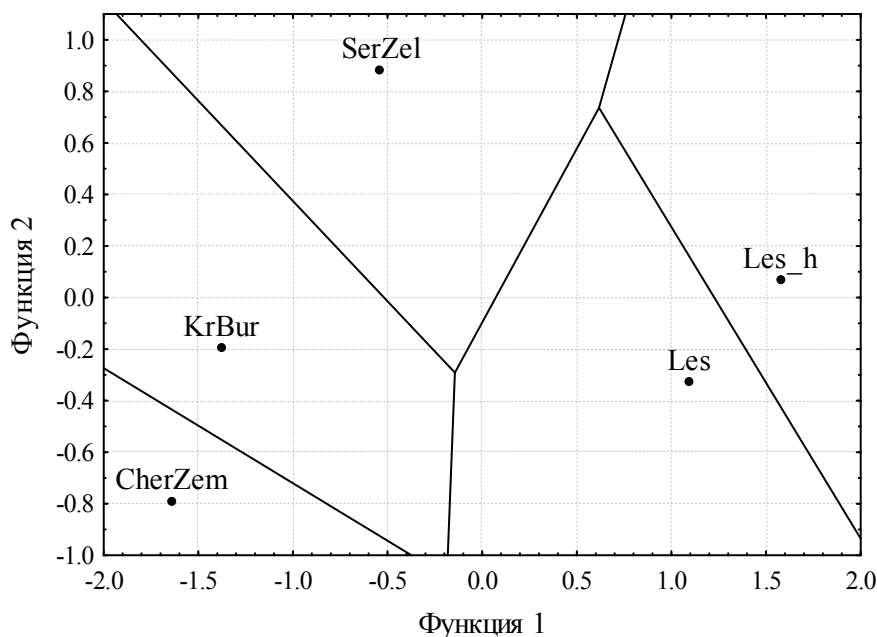


Рис. 1. Ареалы техноземов в пространстве первых двух дискриминантных функций: Les_h – леса с засолением; Les – леса; SerZel – серо-зеленые глины; CherZem – насыпной слой чернозема; KrBur – красно-бурые глины

В пространстве первых двух дискриминантных функций насыпной слой чернозема и красно-бурые глины близко расположены друг к другу, что свидетельствует о высоком сходстве агрегатной структуры этих образований. Дискриминантная функция 3 позволяет их дифференцировать. Красно-бурые глины отличаются повышенной долей фракции агрегатов размером более 10 мм, а для насыпного слоя чернозема характерна большая доля мелких и средних фракций от менее 0,25 до 3 мм.

3. Тест значимости различий квадратов расстояний Махаланобиса для центроидов ареалов техноземов (F-тест для 7 и 149 степеней свободы, сигма-ограниченная параметризация)

Тип технозема	CherZem		KrBur		SerZel		Les		Les_h	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
CherZem			2,69	0,01	7,10	0,00	14,48	0,00	16,97	0,00
KrBur	2,69	0,01			5,44	0,00	16,22	0,00	18,03	0,00
SerZel	7,10	0,00	5,44	0,00			11,93	0,00	11,21	0,00
Les	14,48	0,00	16,22	0,00	11,93	0,00			1,03	0,42

Les_h	16,97	0,00	18,03	0,00	11,21	0,00	1,03	0,42		
Обозначения – см. рис. 1.										

Важное значение имеет подтверждение статистической достоверности различий между агрегатными структурами, характерными для техноземов. Для решения этой задачи был проведен F -тест различий квадратов расстояния Махаланобиса между центроидами техноземов в дискриминантном пространстве (табл. 3).

Для всех типов техноземов различия в их агрегатной структуре достоверны. Варианты лёссов с различным уровнем засоления по своей агрегатной структуре статистически не различаются.

Несмотря на статистическую достоверность различий в агрегатной структуре между типами техноземов, агрегатная структура почвенного покрова в пределах изучаемой территории представляет собой континуальный переход между характерными типами, из-за чего результативность диагностики типов черноземов только на основании агрегатной структуры не высока (табл. 4).

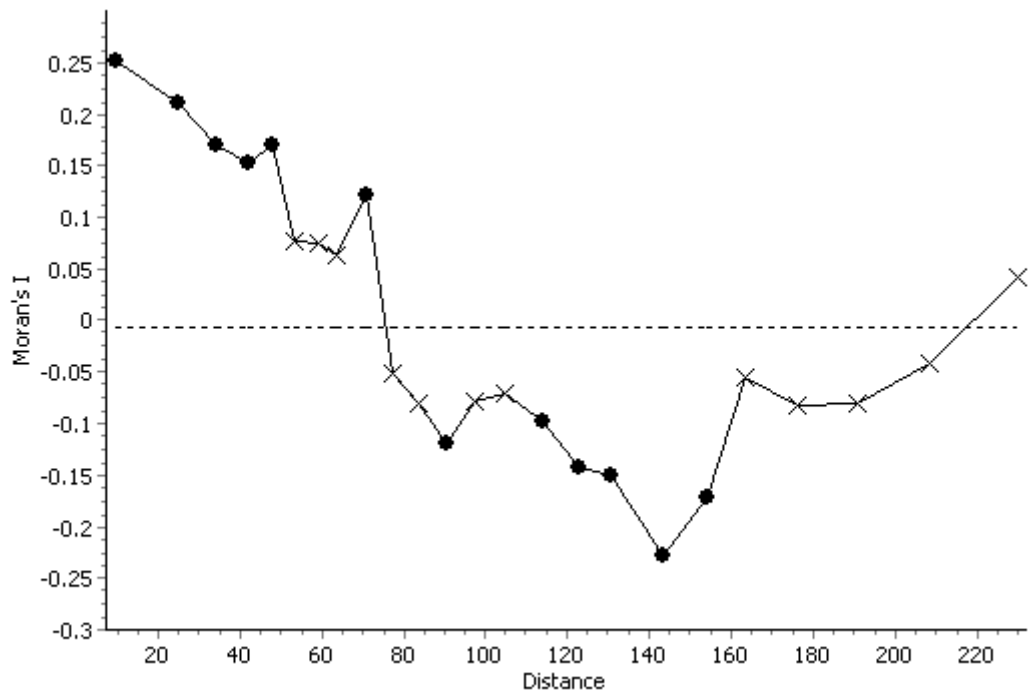
4. Классификационная матрица. Строки – наблюдаемая классификация, столбцы – предсказанная на основании агрегатной структуры

Тип технозема	% правильной классификации	CherZem	KrBur	SerZel	Les	Les_h
CherZem	47,06	8,00	8,00	0,00	1,00	0,00
KrBur	60,61	2,00	20,00	9,00	2,00	0,00
SerZel	72,97	1,00	4,00	27,00	3,00	2,00
Les	61,90	2,00	1,00	4,00	26,00	9,00
Les_h	41,94	0,00	1,00	5,00	12,00	13,00
Всего	58,75	13,00	34,00	45,00	44,00	24,00

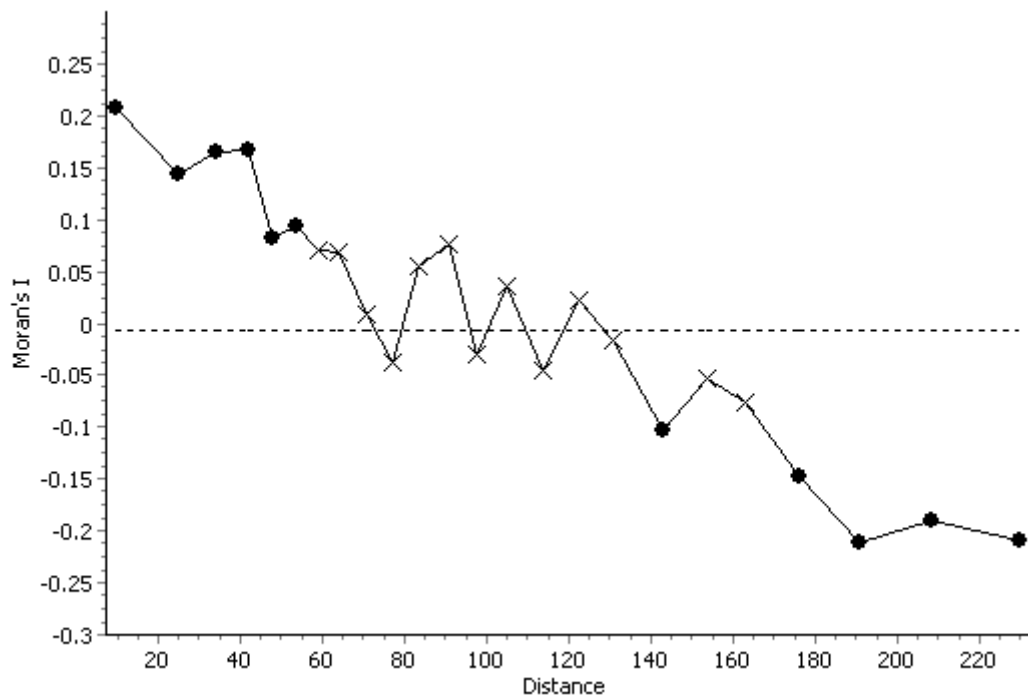
Точность классификации типов техноземов варьирует от 47,06 % для насыпного слоя чернозема до 72,97 % для серо-зеленых глин. Такой результат свидетельствует о градиентных, а не дискретных в пределах данного масштабного уровня переходах между типами техноземов в отношении их агрегатной структуры. Это позволяет в дальнейшей части работы применять континуальные методы геостатистического анализа для всего экспериментального полигона в целом.

Как видно из представленных данных (рис. 2,а), в диапазоне расстояний 0–75 м наблюдается статистически достоверная автокорреляция (несколько ниже достоверного уровня диапазон 50–66 м). Для дистанций 88–157 м наблюдается отрицательная автокорреляция. Такой тип коррелограмм описывает пространственную структуру “*sharp step*” – крутой уступ, тренд с резким переходом от одного уровня к другому [13]. Это предположение подтверждается при анализе карты распределения фракции более 10 мм по территории участка (рис. 3,а). Четко прослеживается область в диагональном направлении, где отмечена высокая доля фракции агрегатов размером более

10 мм, которая и формирует “крутой уступ” с достаточно четко обозначенными границами перехода к зоне с меньшей долей этой фракции.



a



б

Рис. 2. Коррелограмма пространственной изменчивости (индекс Морана) агрегатной фракции: а – размером более 10 мм техноземов; б – 7–10 мм. Круги – достоверные индексы, крестики – достоверно от нуля не отличаются

Для агрегатов размером 7–10 мм отмечена тенденция к ассиметричному распределению, однако коэффициент ассиметрии этого показателя (0,19) значимо не отличается от нуля. Статистический закон этой величины может быть описан нормальным законом (тест Колмогорова-Смирнова – $d = 0,049$). Форма коррелограммы соответствует градиентной пространственной структуре [13] (рис. 2,б).

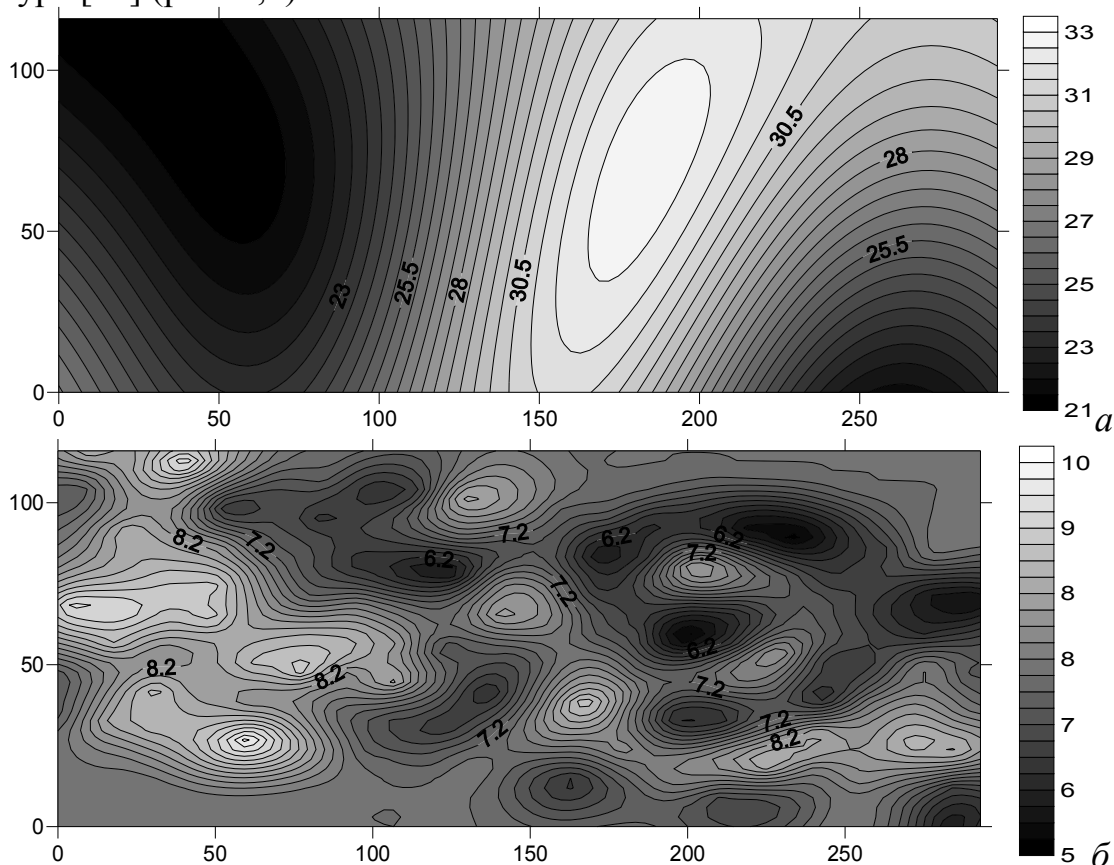


Рис. 3. Пространственное распределение агрегатов размером: а – более 10 мм; б – 7–10 мм

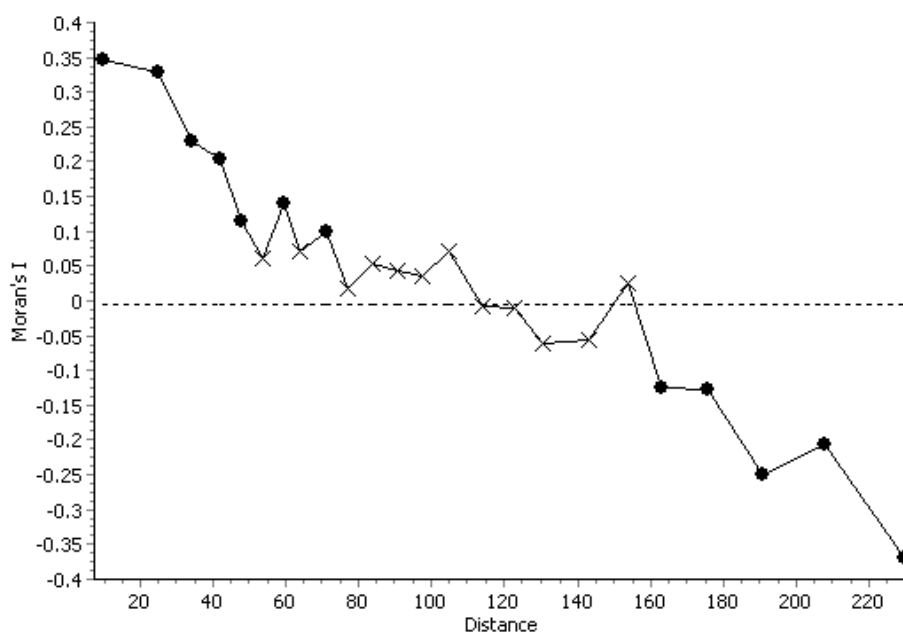
Градиентный характер изменения агрегатной фракции 7–10 мм в пределах участка четко прослеживается при изучении карты этого показателя (рис. 3,б). Восточная часть экспериментального участка характеризуется более высокой долей фракции 7–10 мм (9–14 %) и в западном направлении постепенно (градиентно) переходит в область с не большой долей этой фракции (2–5 %).

Распределение агрегатов размерами 5–7 мм характеризуются значимо отличными от нуля ассиметрией (0,83) и эксцессом (0,58). Такие статистические свойства характерны для двугорбных распределений. Коррелограмма (рис. 4,а) соответствует градиентному изменению в пространстве признака [13].

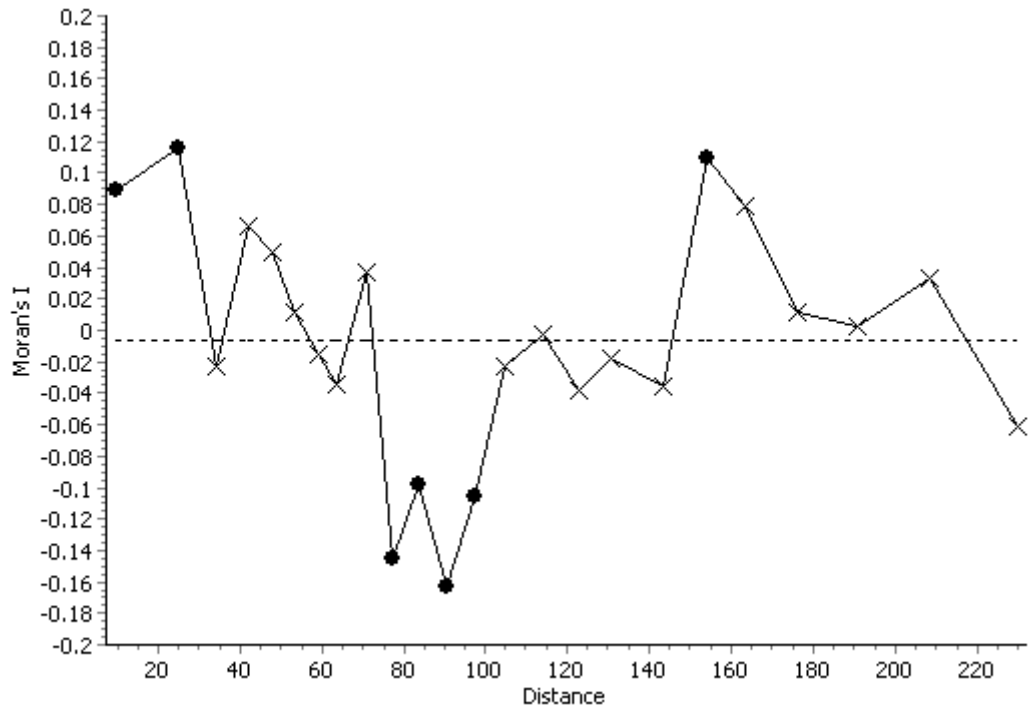
Пространственное поведение доли фракций 5–7 мм показано на рис. 5,а. Как и в случае с фракцией 7–10 мм, общий градиент изменчивости доли фракции от большего к меньшему направлен с востока на запад.

Фракции размерами 0,5–1, 1–3 и 3–5 мм характеризуются нормальным распределением. Изменчивость этих показателей в пространстве показана на рис. 6,б; 6,а и 5,б. Коррелограмма пространственной изменчивости агрегатов фракции 3–5 мм описывает градиентное изменение признака, однотипна графикам для фракций 5–7 и 7–10 мм, поэтому здесь не приводится.

Коррелограмма пространственной изменчивости фракции 1–3 мм отличается от ранее рассмотренных (рис. 4,б). Для неё характерна положительная автокорреляция на малых дистанциях (до 30 м), отрицательная автокорреляция в диапазоне 75–102 м и положительная автокорреляция между точками отбора проб на расстоянии 150–157 м. Такая форма коррелограммы описывает пространственную структуру “*single thin bump*” – локальное поднятие [13], т.е. ограниченная область с более высоким уровнем признака.



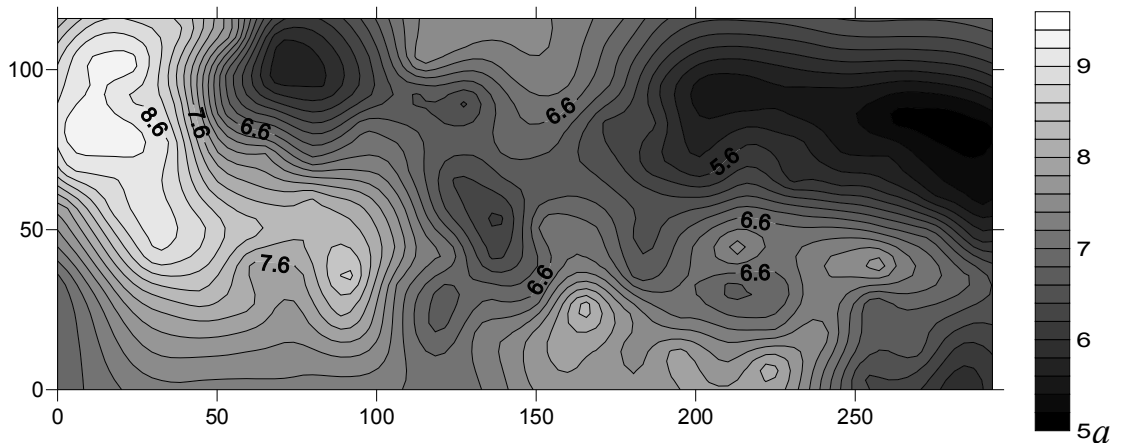
а



б

Рис. 4. Коррелограмма пространственной изменчивости (индекс Морана) агрегатной фракции: а – 5–7 мм; б – 1–3 мм. Круги – достоверные индексы, крестики – достоверно от нуля не отличаются

Такая область прослеживается на карте распределения фракции 1–3 мм, которая расположена на юго-западном участке экспериментального полигона (рис. 6,а).



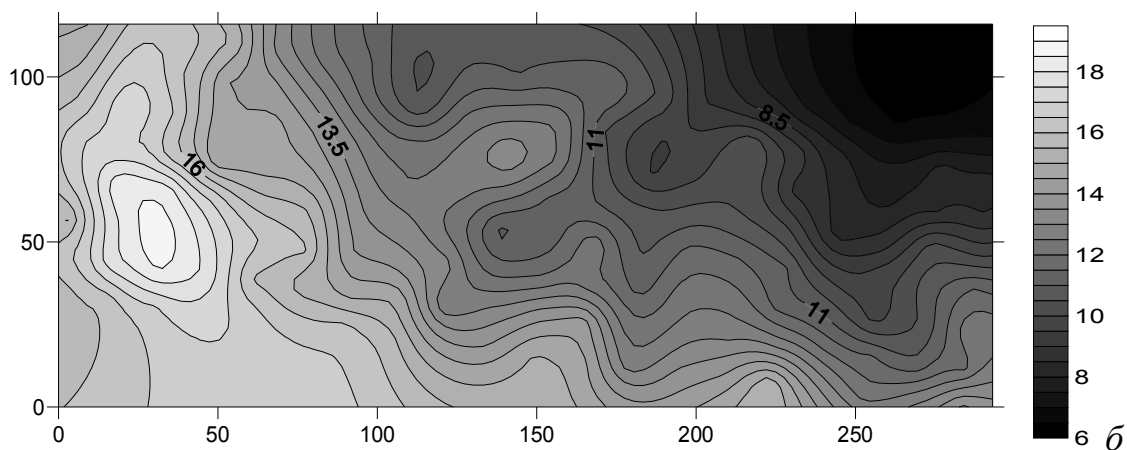


Рис. 5. Пространственное распределение агрегатов размером: а – 5–7 мм; б – 3–5 мм

Коррелограмма пространственной изменчивости агрегатов фракции 0,5–1 мм описывает процесс, который можно назвать “колебательный градиент” (рис. 7,а). Как и для типичного градиентного процесса, наблюдается положительная автокорреляция при малых расстояниях между точками отбора проб и отрицательная автокорреляция – при больших. Однако область статистически достоверных отрицательных автокорреляция прерывается в диапазоне 150–217 м.

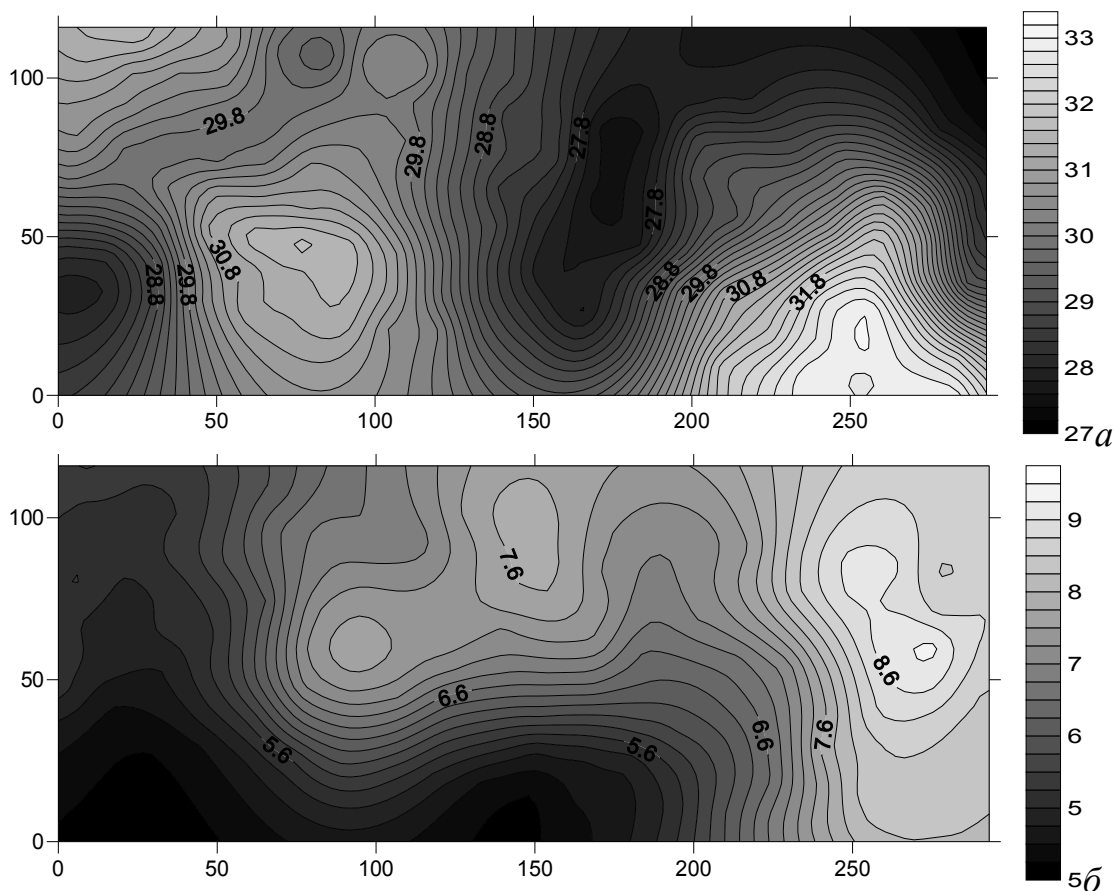
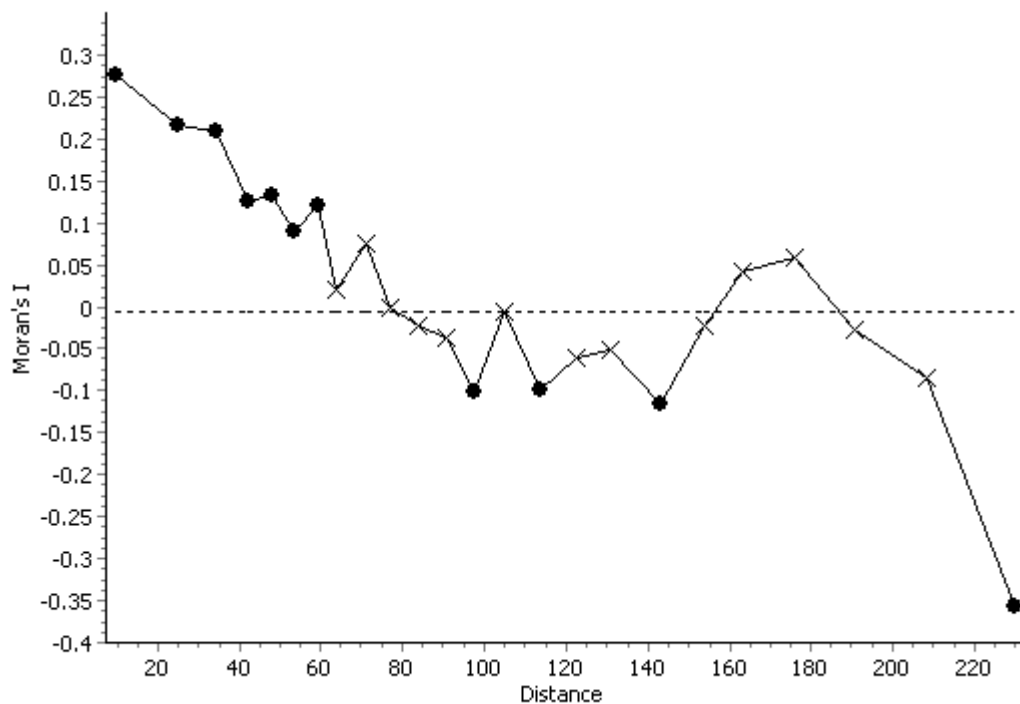
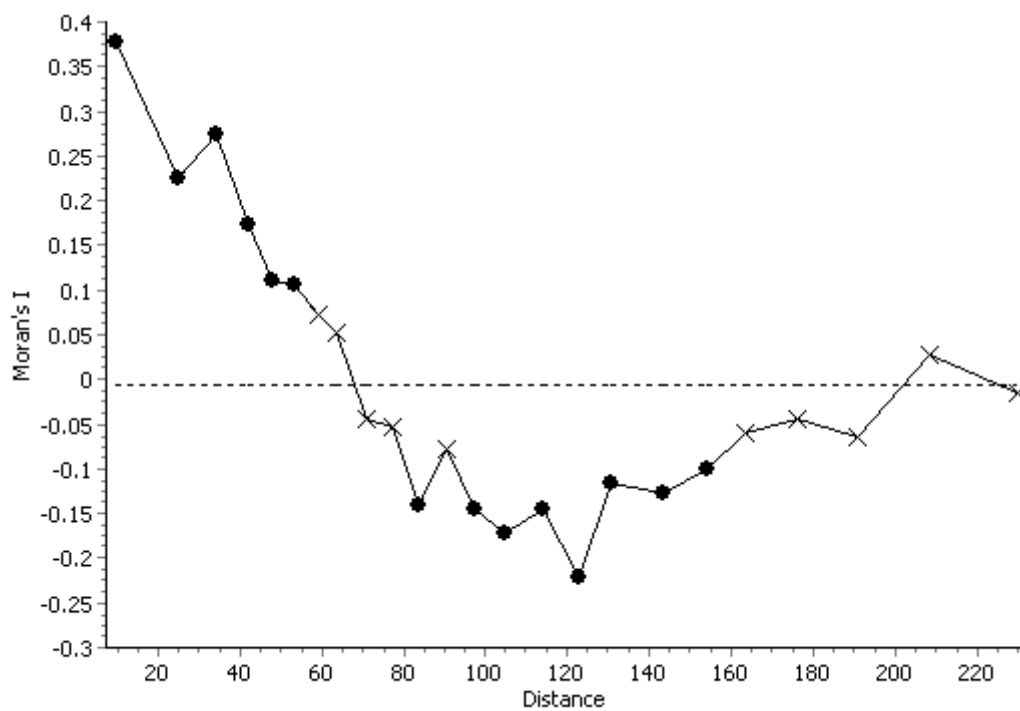


Рис. 6. Пространственное распределение агрегатов размером: а – 1–3 мм; б – 0,5–1 мм



a



b

Рис. 7. Коррелограмма пространственной изменчивости (индекс Морана) агрегатной фракции: а – 0,5–1 мм; б – менее 0,25 мм. Круги – достоверные индексы, крестики – достоверно от нуля не отличаются

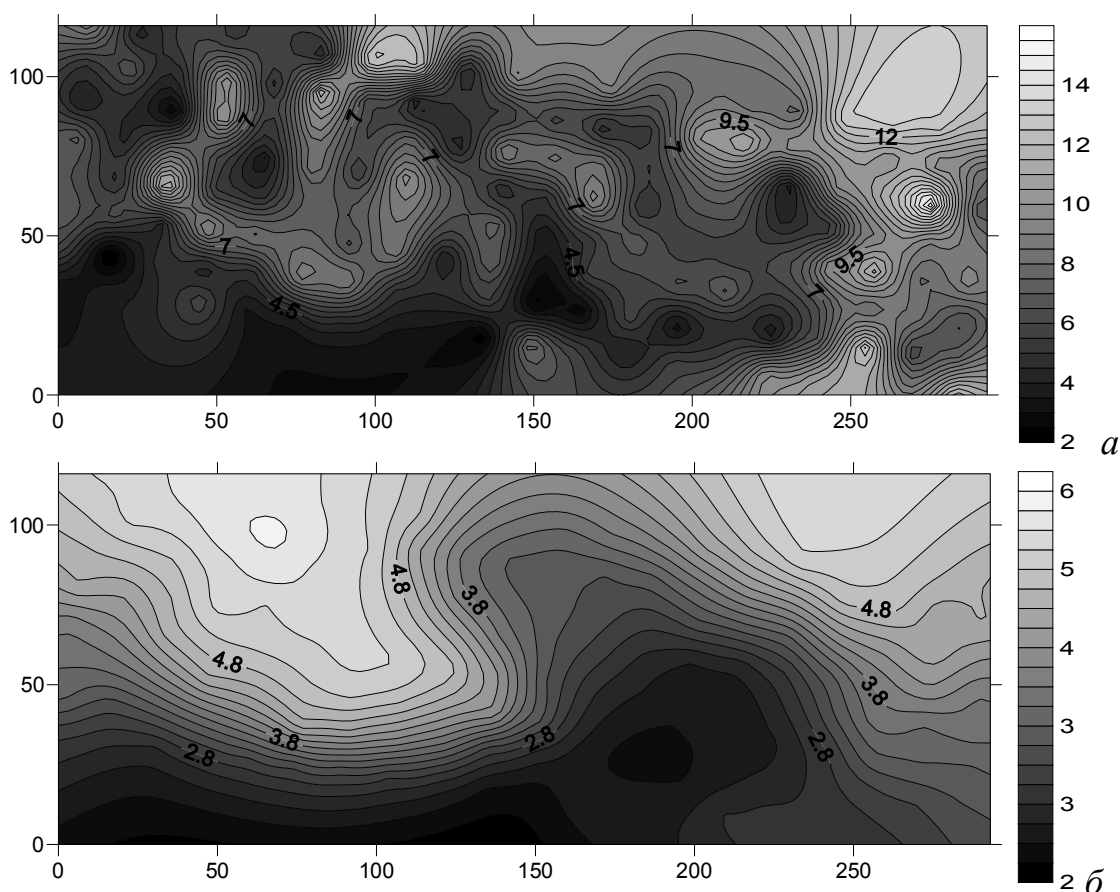


Рис. 8. Пространственное распределение агрегатов размером: а – 0,25–0,5 мм; б – менее 0,25 мм

На карте “колебание” градиента выглядит как отдельная область в центре участка с повышенной долей фракции 0,5–1 мм, которая возникает на фоне закономерного уменьшения доли этой фракции в направлении с юго-востока на северо-запад (рис. 6,б).

Агрегаты размерами 0,25–1 мм и менее 0,25 мм характеризуются асимметричным распределением, которое может быть в большей степени описано гамма-законом.

Необходимо отметить, что карты 6,а; 6,б; 8,а и 8,б формируют закономерную последовательность. Фракция 1–3 мм характеризуется градиентным изменением в направлении юго-восток – северо-запад, для фракций 0,5–1 и 0,25–0,5 мм этот градиент нарушается и превращается в “колебательный” градиент (коррелограмма фракции 0,25–0,5 мм однотипна фракции 0,5–1 мм поэтому не показана) со сдвигом зоны максимумов соответствующих фракций в северном направлении.

Пространственная картина для фракции агрегатов размером менее 0,25 мм находится в тесной связи с пространственными свойствами фракций больших размеров, но при этом характеризуется особенными свойствами (рис. 8,б).

Коррелограмма описывает пространственный паттерн “wide wave” – широкая волна [13].

Выводы

1. Типы техноземов, изученные в настоящем исследовании, характеризуются специфичной агрегатной структурой, что подтверждается статистически. Формирование мозаичного почвенного покрова возникло в результате особенностей закладки экспериментального участка (технический этап рекультивации) и многолетней сельскохозяйственной рекультивации.

2. Сложный и многовекторный характер процессов почвообразования в техноземах на участке рекультивации проявляет себя в том, что агрегатные фракции характеризуются специфичными особенностями своего пространственного распределения в пределах изучаемой территории.

3. Анализ агрегатной структуры имеет большое информационное значение в оценке качества сельскохозяйственных земель. Простота и дешевизна процедуры позволяет получать достаточное количество информации для геостатистического анализа. Этот подход можно рекомендовать для оценки пестроты почвенного покрова и выделения единиц управления в системе точного земледелия для рекультивируемых земель.

Библиография

1. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Волох П.В. Агрегатный состав насыпного плодородного слоя почвы и вскрышных пород при рекультивации / П.В. Волох, О.В. Трухов // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1987. – С. 54–61.
3. Волох П.В. Сучасний ґрунтогенез на рекультивованих літоземах зони Степу України / П.В. Волох, І.Х. Узбек // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 1. – С. 39–47.
4. Антропогенные почвы / [М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева]. – М., 2003. – 268 с.
5. Єстеревська Л.В. Рекультивовані ґрунти: підходи до класифікації та систематики / Л.В. Єстеревська, Г.Ф. Момот, Л.В. Лехцієр // Ґрунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 3–4. – С. 147–150.
6. Кунах О.Н. Отображение техноземов в географическом и экологическом пространствах / О.Н. Кунах, В.В. Коляда // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 1. – С. 56–60.
7. Устойчивое развитие сложных экотехносистем / [В.И. Шемавнев, Н.А. Гордиенко, В.И. Дырда, В.О. Забалуев]. – М.–Днепропетровск, 2005. – 355 с.
8. Birrel S.J. Crop yield mapping: comparison of yield monitors and mapping techniques / S.J. Birrel, S.C. Borgelt, K.A. Sudduth // Proc. 2nd International Conference on Sitespecific Management for Agricultural Systems / Robert, P.C., Rust, R.H. and Larson, W.E., Eds., ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. – 1995. – P. 15–32.

9. Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil / [D.L. Corwin, S.R. Kaffka, J.W. Hopmans, Y. Mori et al.] // *Geoderma*. – 2003. – Vol. 114(3–4). – P. 231–259.

10. *Jury W.A.* Spatial variability of soil properties / W.A. Jury // *Vadose Zone Modeling of Organic Pollutants*. – Hern, S.C. and Melancon, S.M., eds., Lewis Publishers, Chelsea, MI. – 1986. P. 245–269.

11. Site-specific management in salt-affected sugar beet fields using electromagnetic induction / [S.R. Kaffka, S.M. Lesch, K.M. Bali, D.L. Corwin] // *Comp. Electron. Agric.* – 2005. – Vol. 46. – P. 329–350.

12. *Legendre L.* Auxiliary energy, ergoclines and aquatic biological production / L. Legendre, S. Demers // *Naturaliste can. (Qur.)*. – 1985. – Vol. 112. – P. 5–14.

13. *Legendre P.* Spatial pattern and ecological analysis / P. Legendre, M.J. Fortin // *Vegetatio*. – 1989. – Vol. 80. – P. 107–138.

14. *Verhagen A.* Site-specific management: Balancing production and environmental requirements at farm level / A. Verhagen, H.W.G. Booltink, J. Bouma // *Agric. Syst.* – 1995. – Vol. 49. – P. 369–384.