

Геостатистический анализ распределения фитомассы на участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью

А.В. Жуков, кандидат биологических наук

И.В. Лядская, соискатель

А.В. Лапина, аспирант

Встановлено закономірності просторової мінливості біомаси рослинних угруповань засобами ГІС-технологій. За допомогою регресійного аналізу кількісно оцінені залежності фітомаси від едафічних особливостей, таких як агрегатний склад та вміст гумусу. Доведено, що збільшення кількості ґрунтових агрегатів з розмірами понад 3 мм сприяє зростанню первинної продуктивності агробіогеоценозів на ділянках рекультивації.

Изучение характера влияния пространственной неоднородности физических и химических свойств почв на формирование фитомассы агробиогеоценозов является основой применения системы точного земледелия [2]. В настоящее время накоплен и теоретически осмыслен большой фактический материал относительно закономерностей формирования первичной продукции сообществ на участках рекультивации [1, 3, 4]. Однако совершенно не изученным остается вопрос о статистических свойствах этого показателя и особенностях его пространственного варьирования [2].

Выявление пространственных и статистических закономерностей формирования первичной продукции агробиогеоценозов на рекультивируемых землях является **целью** настоящего исследования.

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.

Фитомасса растительных группировок была установлена на площадках размером 50×50 см, которые закономерно располагались вдоль восьми трансект в направлении с запада на восток. Каждая трансекта состояла из 20 проб, расположенных с интервалом 15 м. Такой же была и дистанция между трансектами. Данные о фитомассе были собраны со 160 проб. Сбор материалов проводили по общепринятым методикам [1] июле 2009 г.

Растительный покров на экспериментальном участке рекультивации земель в период исследований был представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.). Полученные результаты свидетельствуют о том, что тип техноземов, в

сочетании с особенностями растительности, определяют уровень значений и особенности изменчивости фитомассы (рис. 1).

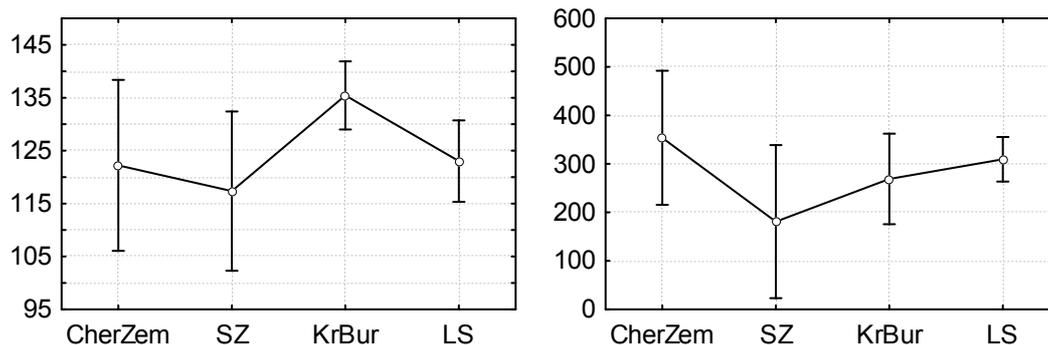


Рис. 1. Изменение фитомассы в зависимости от типа техноземов и растительных ассоциаций: по оси абсцисс – типы техноземов: CherZem – насыпной слой чернозема; SZ – серо-зеленые глины; KrBur – красно-бурые глины; LS – лессовидные суглинки; по оси ординат – фитомасса, г/0,25 м²; растительные ассоциации: слева – *Bromopsis inermis*; справа – *Melilotus officinalis*; вертикальные линии указывают 95%-ный доверительный интервал

Фитомасса ассоциаций *Melilotus officinalis* является в большей степени чувствительной к типу техноземов в сравнении с фитомассой ассоциации *Bromopsis inermis*. Дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил, что этот показатель у ассоциации *Bromopsis inermis* статистически не зависит от типа технозема ($F = 1,36$; $p = 0,26$). Напротив, для ассоциации *Melilotus officinalis* влияние типа технозема на фитомассу является статистически значимым ($F = 3,09$; $p = 0,04$).

Если рассмотреть общую статистическую модель, где тип растительной ассоциации выступает в качестве одной из переменных, то мы найдем влияние типа технозема и растительной ассоциации на фитомассу статистически достоверным, в чем убеждает общая линейная модель (GLM) – табл. 1.

1. Общая линейная модель влияния типа техноземов, растительных ассоциаций и почвенных свойств на фитомассу

Параметр	SS	Степень свободы	MS	F	p
Свободный член	8916,17	1	8916,17	6,52	0,012
Гумус	36244,30	1	36244,30	26,50	0,000
pH (водн.)	6672,10	1	6672,10	4,88	0,029
Mg	7141,94	1	7141,94	5,22	0,024
HCO ₃	10779,49	1	10779,49	7,88	0,006
Тип травостоя (Grass)	378703,34	1	378703,34	276,92	0,000
Тип технозема (Soil)	31745,27	3	31745,27	7,74	0,000
Grass*Soil	47843,20	3	47843,20	11,66	0,000
Ошибка	202397,58	148	1367,55		

Полученные данные утверждают достоверное влияние типа техноземов на фитомассу, а также взаимодействие типа технозема и типа растительной ассоциации. Тип технозема и тип растительной ассоциации следует рассматривать как факторы, определяющие уровень фитомассы. Регулирующими факторами являются количество гумуса, рН, концентрация в почвенном растворе магния и гидрокарбоната.

Влияние гумуса на фитомассу растительных ассоциаций в различных типах техноземов показано на рис. 2.

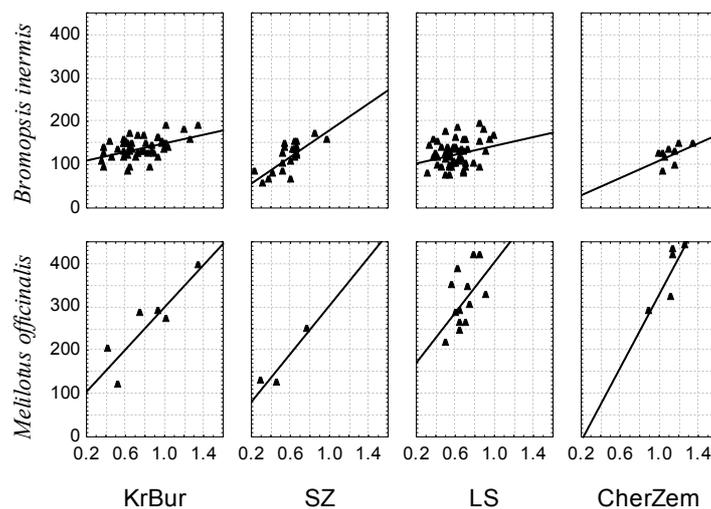


Рис. 2. Регулирующее влияние количества гумуса (ось абсцисс, %) на фитомассу (ось ординат)

Влияние количества гумуса на фитомассу растительных группировок может быть описано с помощью уравнения линейной регрессии вида

$$Y = kX + b,$$

где Y – зависимая переменная (фитомасса); X – аргумент (количество гумуса); k и b – коэффициенты регрессии. Особенное значение имеет коэффициент k , который указывает на силу функциональной зависимости. Для всех типов техноземов растительные ассоциации *Melilotus officinalis* более чувствительны к увеличению гумуса в почве, чем ассоциации *Bromopsis inermis*. Так, для красно-бурых глин коэффициент k регрессионной модели составляет 33,38 и 208,38 для *Bromopsis inermis* и *Melilotus officinalis* соответственно. Для серо-зеленных глин коэффициент равен 158,43 и 205,27, для лессовидных суглинков – 38,90 и 301,25, для насыпного слоя чернозема – 99,83 и 299,62.

Множественный регрессионный анализ позволил установить характер влияния физико-химических свойств техноземов на продуктивность фитоценозов (табл. 2).

Агрегатный состав почв характеризуется с помощью системы переменных, сумма которых составляет 100 %, т.е. они являются зависимыми друг от друга. Множественная регрессионная модель исходит из обратного предположения о независимости переменных-предикторов. Поэтому данные об агрегатном составе почв были предварительно подвергнуты многомерному факторному анализу, в результате которого были получены два латентных фактора, которые

в сумме описывают 72,52 % дисперсии признакового пространства. Фактор 1 противопоставляет изменчивость доли агрегатов размерами 3–10 мм с одной стороны и <0,25–0,5 и >10 мм – с другой. Фактор 2 отражает уменьшение доли крупных агрегатов (более 10 мм) и связанное с этим увеличением агрегатов размерами менее 1 мм.

2. Регрессионный анализ влияния физико-химических свойств техноземов на продуктивность растительных ассоциаций

(Beta – стандартизированные регрессионные коэффициенты)

Параметр	<i>Bromopsis inermis</i>		<i>Melilotus officinalis</i>	
	$R^2= 0,36; F(16, 116)=6,94 p<0.000$		$R^2= 0,91; F(16, 10)=18,11 p<0,000$	
	Beta	p-уровень	Beta	p-уровень
Фактор 1	0,08	0,271	0,74	0,000
Фактор 2	-0,42	0,000	0,58	0,000
Гумус, %	0,30	0,000	-0,08	0,402
pH _{водн.}	-0,14	0,297	-0,25	0,063
Cl ⁻	0,01	0,902	-0,03	0,761
SO ₄ ⁻²	0,17	0,109	-0,07	0,562
Ca ⁺²	-0,25	0,172	0,31	0,040
Mg ⁺²	-0,31	0,068	0,52	0,001
HCO ₃ ⁻	0,54	0,010	-0,10	0,414
Ka ⁺ +Na ⁺	-0,43	0,033	-0,01	0,922

Множественный регрессионный анализ показал, что гумус является важным фактором для продуктивности ассоциаций *Bromopsis inermis*. На фоне других переменных-предикторов для ассоциаций *Melilotus officinalis* гумус не оказывает статистически значимого влияния на продуктивность растительных сообществ. Это противоречие с результатами парного регрессионного анализа может быть объяснено интегральным модулирующим влиянием гумуса, который модулирует воздействие прочих свойств почвы.

Специфичным является реакция растительных ассоциаций на агрегатный состав техноземов. Для ассоциации *Bromopsis inermis* ведущим является фактор 2 – увеличение доли агрегатов с размерами 3–7 мм и уменьшение агрегатов с размерами <0,25–0,5 и >10 мм способствуют росту продуктивности фитоценозов. Обратным образом реагирует на такое изменение ассоциация *Melilotus officinalis*. Кроме того, эта ассоциация чувствительна к действию фактора 1 – увеличение мелких фракций (менее 1 мм) за счет уменьшения фракций более 10 мм способствует росту продукции ассоциаций *Melilotus officinalis*. Таким образом, две доминирующие растительные ассоциации отличаются четкими предпочтениями агрегатного состояния техноземов.

Изменчивость кислотности водной вытяжки в пределах экспериментального участка, а также концентрация в почвенном растворе ионов хлора и сульфат-иона не являются существенными факторами, которые влияют на продуктивность фитоценозов. Концентрация ионов кальция и магния

позитивно отражается на продукции ассоциации *Melilotus officinalis*. На продукцию ассоциации *Bromopsis inermis* кальций не влияет, а магний угнетает биомассу растений. Гидрокарбонат имеет обратное влияние: его увеличение связано с ростом биомассы растительных сообществ *Bromopsis inermis* и уменьшением биомассы сообществ *Melilotus officinalis*. Одновалентные ионы (сумма калия и натрия) не влияют на *Melilotus officinalis* и негативно сказываются на биомассе *Bromopsis inermis*.

Динамику фитомассы в пространстве экспериментального участка можно рассматривать как колебательный процесс и исследовать средствами анализа Фурье. Периодограмма является элементом анализа Фурье (рис. 3).

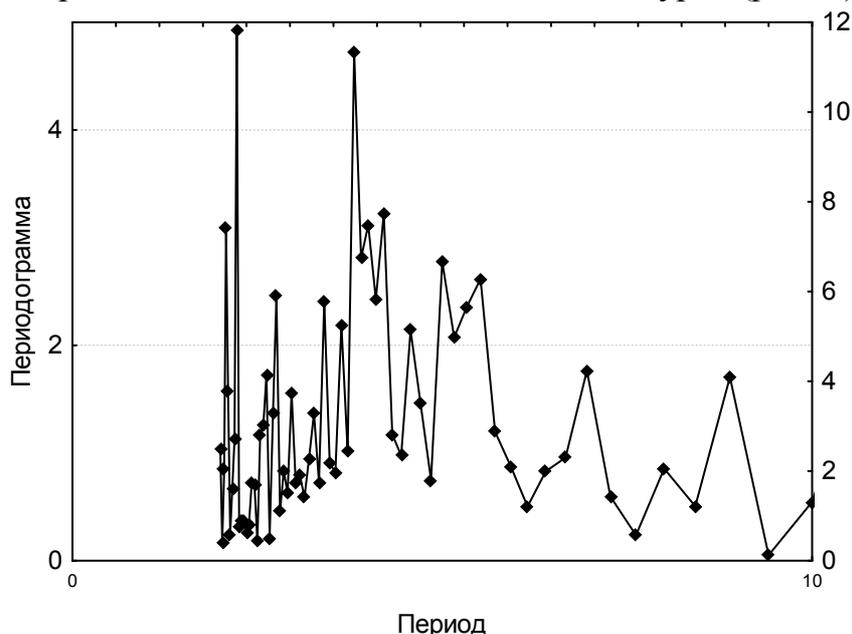


Рис. 3. Периодограмма динамики фитомассы

Значение периодограммы может быть интерпретировано как варианса (сумма квадратов отклонений от среднего) данных при соответствующей частоте или периоде. Фитомасса экспериментального участка характеризуется периодичностью с малыми лагами (2,0–2,22), что отражает взаимную зависимость продуктивности участков, близко расположенных друг от друга. Еще одним уровнем периодичности являются лаги в диапазоне 2,5–4,0 (с двумя максимумами 2,58 и 3,8). Наличие периодичности в двумерном пространстве можно интерпретировать как мозаичность (пятнистость), что является основой выделения управленческих единиц в системе точного земледелия.

Библиография

1. Бекаревич Н.Е. Породы надрудной толщи и их агробиологическая оценка / Н.Е. Бекаревич // О рекультивации земель в степи Украины. – Днепропетровск : Промінь, 1971. – С. 20–37.
2. Грицан Ю.І. Екологічне різноманіття агробіогеоценозів як передумова впровадження системи точного землеробства на рекультивованих землях / Ю. І. Грицан, О.А. Демидов, О.В. Жуков // Структурна перебудова та екологізація

економіки в контексті переходу України до збалансованого розвитку: матеріали ІІІ Українського екологічного конгресу. (Дніпропетровськ, 10–11 грудня 2009 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2009. – С. 75–78.

3. Масюк Н.Т. Эколого-биологические эффекты, открытые на горных породах в процессе их изучения и сельскохозяйственного освоения / Н.Т. Масюк // Эколого-биологические и социально-экономические сельскохозяйственной рекультивации в степной черноземной зоне УССР: труды ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – С. 33–71.

4. Устойчивое развитие сложных экотехносистем / [В.И. Шемавнев, Н.А. Гордиенко, В.И. Дырда, В.О. Забалуев]. – М.–Днепропетровск, 2005. – 355 с.